

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 6 月 23 日 (23.06.2005)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/056295 A1

(51) 国際特許分類⁷: B41J 2/16, 2/045, 2/055

(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/018378

(22) 国際出願日: 2004 年 12 月 9 日 (09.12.2004)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2003-410724 2003 年 12 月 9 日 (09.12.2003) JP
特願2004-231463 2004 年 8 月 6 日 (06.08.2004) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): セイコーエプソン株式会社 (SEIKO EPSON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1630811 東京都新宿区西新宿 2 丁目 4 番 1 号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 伊藤マキ (ITO,

Maki) [JP/JP]; 〒3928502 長野県諏訪市大和 3 丁目 3 番 5 号 セイコーエプソン株式会社 Nagano (JP). 村井正己 (MURAI, Masami) [JP/JP]; 〒3928502 長野県諏訪市大和 3 丁目 3 番 5 号 セイコーエプソン株式会社内 Nagano (JP). 李欣山 (LI, Xin-Shan) [JP/JP]; 〒3928502 長野県諏訪市大和 3 丁目 3 番 5 号 セイコーエプソン株式会社内 Nagano (JP). 新保俊尚 (SHINBO, Toshinao) [JP/JP]; 〒3928502 長野県諏訪市大和 3 丁目 3 番 5 号 セイコーエプソン株式会社内 Nagano (JP).

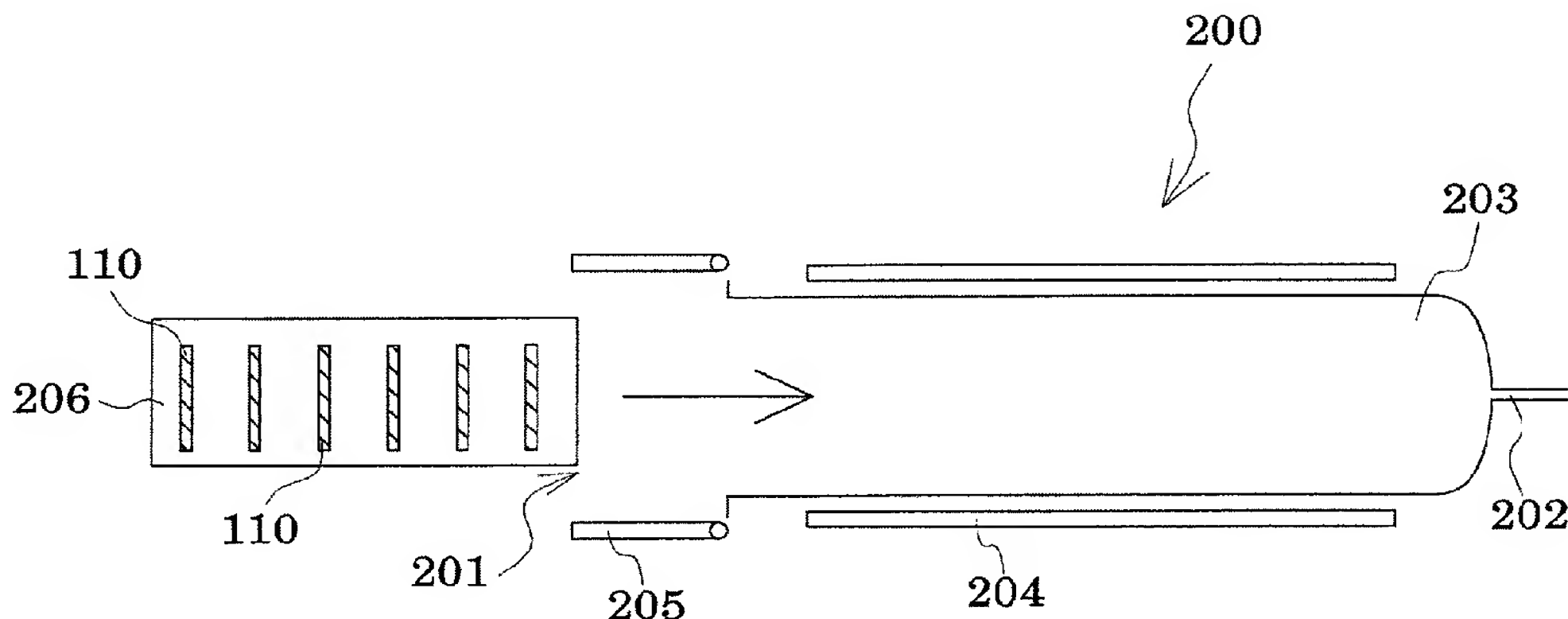
(74) 代理人: 栗原浩之 (KURIHARA, Hiroyuki); 〒1500012 東京都渋谷区広尾 1-3-15 岩崎ビル 6 階 栗原国際特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,

/ 続葉有 /

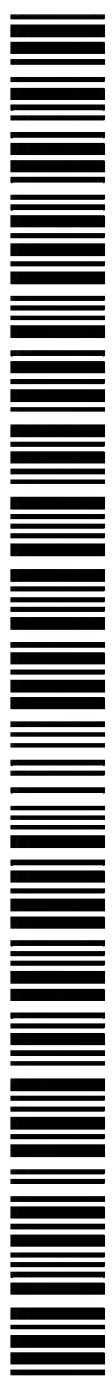
(54) Title: ACTUATOR DEVICE MANUFACTURING METHOD AND LIQUID JET DEVICE

(54) 発明の名称: アクチュエータ装置の製造方法及び液体噴射装置



(57) Abstract: A method for manufacturing an actuator device having improved durability and reliability realized by preventing a vibratory plate from separating and a liquid jet device are disclosed. The method comprises a step of fabricating a vibratory plate on one side of a base and a step of fabricating a piezoelectric element composed of a lower electrode, a piezoelectric layer, and an upper electrode on the vibratory plate. The vibratory plate fabricating step includes an insulating film forming substep at which a zirconium layer is formed on the one side of the base by sputtering, inserting the base having the zirconium layer into a thermally oxidizing furnace heated above 700°C at speed of 200 mm/min or more, and thermally oxidizing the zirconium layer thereby to form an insulating film of zirconium oxide.

(57) 要約: 振動板の剥がれを防止して耐久性及び信頼性を向上したアクチュエータ装置の製造方法及び液体噴射装置を提供する。基板の一方面に振動板を形成する工程と、振動板上に下電極、圧電体層及び上電極からなる圧電素子を形成する工程とを具備し、振動板を形成する工程が、基板の一方面側にスパッタ法によりジルコニウム層を形成すると共にジルコニウム層が形成された基板を 700°C 以上に加熱した熱酸化炉に 200 mm/min 以上の速度で挿入してジルコニウム層を熱酸化することで酸化ジルコニウムからなる絶縁体膜を形成する絶縁体膜形成工程を少なくとも含むようにする。



WO 2005/056295 A1



SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護
が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA,
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ,
BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE,
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

アクチュエータ装置の製造方法及び液体噴射装置

技術分野

- [0001] 本発明は、圧力発生室の一部を振動板で構成し、この振動板上に圧電体層を有する圧電素子を形成して、圧電素子の変位により振動板を変形させるアクチュエータ装置の製造方法及びアクチュエータ装置を用いて液滴を吐出させる液体噴射装置に関する。

背景技術

- [0002] 電圧を印加することにより変位する圧電素子を具備するアクチュエータ装置は、例えば、液滴を噴射する液体噴射装置に搭載される液体噴射ヘッドの液体吐出手段として用いられる。このような液体噴射装置としては、例えば、ノズル開口と連通する圧力発生室の一部を振動板で構成し、この振動板を圧電素子により変形させて圧力発生室のインクを加圧してノズル開口からインク滴を吐出させるインクジェット式記録ヘッドを具備するインクジェット式記録装置が知られている。
- [0003] インクジェット式記録ヘッドには、圧電素子の軸方向に伸長、収縮する縦振動モードのアクチュエータ装置を搭載したものと、たわみ振動モードのアクチュエータ装置を搭載したものの2種類が実用化されている。そして、たわみ振動モードのアクチュエータ装置を使用したものとしては、例えば、振動板の表面全体に互って成膜技術により均一な圧電体膜を形成し、この圧電体層をリソグラフィ法により圧力発生室に対応する形状に切り分けることによって各圧力発生室毎に独立するように圧電素子を形成したものがある。
- [0004] このような圧電素子を構成する圧電材料層の材料としては、例えば、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)が用いられる。この場合、圧電材料層を焼成する際に、圧電材料層の鉛成分が、シリコン(Si)からなる流路形成基板の表面に設けられて振動板を構成する酸化シリコン(SiO_2)膜に拡散してしまう。そして、この鉛成分の拡散によって酸化シリコンの融点が降下し、圧電材料層の焼成時の熱により溶融してしまうという問題がある。このような問題を解決するために、例えば、酸化シリコン膜上に振動板を構成

し、所定の厚みを有する酸化ジルコニウム膜を設け、この酸化ジルコニウム膜上に圧電材料層を設けることで、圧電材料層から酸化シリコン膜への鉛成分の拡散を防止したものがある。(例えば、特許文献1参照)。

[0005] この酸化ジルコニウム膜は、例えば、スパッタ法によりジルコニウム膜を形成後、このジルコニウム膜を熱酸化することによって形成される。このため、ジルコニウム膜を熱酸化する際に発生する応力によって酸化ジルコニウム膜にクラックが発生する等の不良が発生するという問題がある。また、流路形成基板と酸化ジルコニウム膜との応力に差が大きいと、例えば、流路形成基板に圧力発生室を形成した後などに、流路形成基板等が変形することによりジルコニウム膜が剥がれてしまう等の問題も発生する。

[0006] 特許文献1：特開平11-204849号公報(図1、図2、第5頁)

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0007] 上記課題を解決する本発明の第1の態様は、基板の一方面に振動板を形成する工程と、該振動板上に下電極、圧電体層及び上電極からなる圧電素子を形成する工程とを具備し、前記振動板を形成する工程が、前記基板の一方面側にスパッタ法によりジルコニウム層を形成すると共に該ジルコニウム層が形成された前記基板を700℃以上に加熱した熱酸化炉に200mm/min以上の速度で挿入して当該ジルコニウム層を熱酸化することで酸化ジルコニウムからなる絶縁体膜を形成する絶縁体膜形成工程を少なくとも含むことを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法にある。

[0008] かかる第1の態様では、絶縁体膜の密着力を向上することができ、絶縁体膜の剥がれ等の発生を防止することができる。

[0009] 本発明の第2の態様は、第1の態様において、前記熱酸化炉の加熱温度を850℃以上1000℃以下とすることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法にある。

[0010] かかる第2の態様では、熱酸化炉の加熱温度を比較的高くすることで、絶縁体膜の応力の増大を抑えることができ、応力に起因して絶縁体膜にクラックが発生するのを防止することができる。

[0011] 本発明の第3の態様は、第1又は2の態様において、前記基板を熱酸化炉に挿入

する際の前記ジルコニウム層の昇温レートが、 $300^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 以上であることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法にある。

[0012] かかる第3の態様では、ジルコニウム層の昇温レートを比較的速くすることで、絶縁体膜の応力をさらに確実に抑えることができると共に、絶縁体膜の密度が増加する。

[0013] 本発明の第4の態様は、第3の態様において、前記絶縁体膜形成工程では、当該絶縁体膜の密度が $5.0\text{g}/\text{cm}^3$ 以上となるようにすることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法にある。

[0014] かかる第4の態様では、絶縁体膜が緻密な膜となるため、圧電体層の鉛(Pb)成分の弾性膜への拡散を効果的に抑制することができる。

[0015] 本発明の第5の態様は、第1〜4の何れかの態様において、前記絶縁体膜を形成する工程では、当該絶縁体膜の膜厚が 40nm 以上となるようにすることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法にある。

[0016] かかる第5の態様では、圧電体層の鉛(Pb)成分の弾性膜への拡散を確実に防止することができる。

[0017] 本発明の第6の態様は、基板の一方面に振動板を形成する工程と、該振動板上に下電極、圧電体層及び上電極からなる圧電素子を形成する工程とを具備し、前記振動板を形成する工程が、前記基板の一方面側にジルコニウム層を形成すると共に該ジルコニウム層を所定の昇温レートで所定の温度まで加熱して熱酸化することにより酸化ジルコニウム層からなる絶縁体膜を形成する工程と、前記ジルコニウム層を熱酸化する際の最高温度以下の温度で前記絶縁体膜をアニール処理して当該絶縁体膜の応力を調整する工程とを少なくとも有することを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法にある。

[0018] かかる第6の態様では、振動板を構成する絶縁体膜の密着力が向上する。また、同一ウェハ内での絶縁体膜の密着力のばらつきも抑えることができ、圧電素子の変位特性を均一化したアクチュエータ装置を製造することができる。

[0019] 本発明の第7の態様は、第6の態様において、前記ジルコニウム層を熱酸化する際の昇温レートを $5^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 以上とすることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法にある。

- [0020] かかる第7の態様では、絶縁体膜の密着力をさらに向上させることができる。また、絶縁体膜の密度が増加するため、圧電体層の鉛(Pb)成分の弾性膜への拡散を抑制することができる。
- [0021] 本発明の第8の態様は、第7の態様において、前記ジルコニウム層を熱酸化する際の昇温レートを $50^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 以上とすることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法にある。
- [0022] かかる第8の態様では、昇温レートを所定値以上とすることで、絶縁体膜がさらに緻密な膜となり且つ絶縁体膜の密着力が確実に向上する。
- [0023] 本発明の第9の態様は、第8の態様において、前記ジルコニウム層を熱酸化する際に、当該ジルコニウム層をRTA法によって加熱することを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法にある。
- [0024] かかる第9の態様では、RTA法を用いることで、ジルコニウム層を所望の昇温レートで加熱することができる。
- [0025] 本発明の第10の態様は、第7～10の何れかにおいて、前記絶縁体膜を形成する工程では、当該絶縁体膜の密度が $5.0\text{g}/\text{cm}^3$ 以上となるようにすることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法にある。
- [0026] かかる第10の態様では、絶縁体膜が緻密な膜となるため、圧電体層の鉛(Pb)成分の弾性膜への拡散を効果的に抑制することができる。
- [0027] 本発明の第11の態様は、第10の態様において、前記絶縁体膜を形成する工程では、当該絶縁体膜の膜厚が 40nm 以上となるようにすることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法にある。
- [0028] かかる第11の態様では、圧電体層の鉛(Pb)成分の弾性膜への拡散を確実に防止することができる。
- [0029] 本発明の第12の態様は、第6～11の何れかの態様において、前記ジルコニウム層を熱酸化する際の温度を 800°C 以上 1000°C 以下とすることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法にある。
- [0030] かかる第12の態様では、ジルコニウム層を良好に熱酸化することができ、絶縁体膜の密着力をより確実に向上させることができる。

- [0031] 本発明の第13の態様は、第12の態様において、前記絶縁体膜をアニール処理する際の温度を800℃以上900℃以下とすることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法にある。
- [0032] かかる第13の態様では、密着力を低下させることなく絶縁体膜の応力を調整することができる。
- [0033] 本発明の第14の態様は、第13の態様において、前記絶縁体膜をアニール処理する時間を0.5時間以上2時間以下の範囲で調整することを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法にある。
- [0034] かかる第14の態様では、密着力を低下させることなく絶縁体膜の応力を確実に調整することができる。
- [0035] 本発明の第15の態様は、第1～14の何れかの態様において、前記振動板を形成する工程が、シリコン単結晶基板からなる前記基板の一側に、酸化シリコン(SiO_2)からなる弾性膜を形成する工程を含み、前記絶縁体膜を該弾性膜上に形成することを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法にある。
- [0036] かかる第15の態様では、絶縁体膜の下側の膜が、酸化シリコンからなる弾性膜であっても密着性が向上する。
- [0037] 本発明の第16の態様は、第1～15の何れかの態様において、前記圧電素子を形成する工程が、前記振動板上にチタン酸ジルコン酸鉛(PZT)からなる圧電体層を形成する工程を少なくとも含むことを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法にある。
- [0038] かかる第16の態様では、圧電体層の鉛成分の振動板への拡散が防止でき、振動板及び圧電素子を良好に形成することができる。
- [0039] 本発明の第17の態様は、第1～16の何れかの態様の製造方法によって製造されたアクチュエータ装置を液体吐出手段とする液体噴射ヘッドを備えたことを特徴とする液体噴射装置にある。
- [0040] かかる第17の態様では、振動板の耐久性を向上すると共に、圧電素子の駆動による振動板の変位量を向上することができ、液滴の吐出特性を向上した液体噴射装置を実現することができる。

図面の簡単な説明

- [0041] [図1]実施形態1に係る記録ヘッドの分解斜視図である。
- [図2]実施形態1に係る記録ヘッドの平面図及び断面図である。
- [図3]実施形態1に係る記録ヘッドの製造工程を示す断面図である。
- [図4]実施形態1に係る記録ヘッドの製造工程を示す断面図である。
- [図5]実施形態1に係る記録ヘッドの製造工程を示す断面図である。
- [図6]製造工程で用いる拡散炉の概略図である。
- [図7]ボートロードスピードと密着力との関係を示すグラフである。
- [図8]熱酸化温度と応力との関係を示すグラフである。
- [図9]ボートロードスピードと応力との関係を示すグラフである。
- [図10]本発明の一実施形態に係る記録装置の概略図である。
- [図11]密着力の測定位置を説明する図である。
- [図12]昇温レートと密着力との関係を示すグラフである。
- [図13]絶縁体膜の断面を示すSEM像である。
- [図14]アニール処理の時間経過と絶縁体膜の応力との関係を示すグラフである。
- [図15]比較例に係る絶縁体膜の密着力のばらつきを示すグラフである。
- [図16]実施例に係る絶縁体膜の密着力のばらつきを示すグラフである。

符号の説明

- [0042] 10 流路形成基板、12 圧力発生室、20 ノズルプレート、21 ノズル開口、30 保護基板、31 圧電素子保持部、32 リザーバ部、40 コンプライアンス基板、50 弾性膜、55 絶縁体膜、60 下電極膜、70 圧電体層、80 上電極膜、100 リザーバ、110 流路形成基板用ウェハ、300 圧電素子

発明を実施するための最良の形態

- [0043] 以下に本発明を実施形態に基づいて詳細に説明する。

- [0044] (実施形態1)

図1は、本発明の実施形態1に係るインクジェット式記録ヘッドを示す分解斜視図であり、図2は、図1の平面図及び断面図である。図示するように、流路形成基板10は、本実施形態では面方位(110)のシリコン単結晶基板からなり、その一方の面には予め熱酸化により形成した二酸化シリコンからなる、厚さ0.5〜2 μ mの弾性膜50が

形成されている。流路形成基板10には、複数の圧力発生室12がその幅方向に並設されている。また、流路形成基板10の圧力発生室12の長手方向外側の領域には連通部13が形成され、連通部13と各圧力発生室12とが、各圧力発生室12毎に設けられたインク供給路14を介して連通されている。なお、連通部13は、後述する保護基板のリザーバ部と連通して各圧力発生室12の共通のインク室となるリザーバの一部を構成する。インク供給路14は、圧力発生室12よりも狭い幅で形成されており、連通部13から圧力発生室12に流入するインクの流路抵抗を一定に保持している。

[0045] また、流路形成基板10の開口面側には、各圧力発生室12のインク供給路14とは反対側の端部近傍に連通するノズル開口21が穿設されたノズルプレート20が接着剤や熱溶着フィルム等を介して固着されている。なお、ノズルプレート20は、厚さが例えば、0.01〜1mmで、線膨張係数が300℃以下で、例えば $2.5 \sim 4.5 [\times 10^{-6} / ^\circ\text{C}]$ であるガラスセラミックス、シリコン単結晶基板又は不銹鋼などからなる。

[0046] 一方、このような流路形成基板10の開口面とは反対側には、上述したように、厚さが例えば約 $1.0 \mu\text{m}$ の二酸化シリコン(SiO_2)からなる弾性膜50が形成され、この弾性膜50上には、厚さが例えば、約 $0.4 \mu\text{m}$ の酸化ジルコニウム(ZrO_2)からなる絶縁体膜55が形成されている。また、この絶縁体膜55上には、厚さが例えば、約 $0.2 \mu\text{m}$ の下電極膜60と、厚さが例えば、約 $1.0 \mu\text{m}$ の圧電体層70と、厚さが例えば、約 $0.05 \mu\text{m}$ の上電極膜80とが、後述するプロセスで積層形成されて、圧電素子300を構成している。ここで、圧電素子300は、下電極膜60、圧電体層70及び上電極膜80を含む部分をいう。一般的には、圧電素子300の何れか一方の電極を共通電極とし、他方の電極及び圧電体層70を各圧力発生室12毎にパターンニングして構成する。そして、ここではパターンニングされた何れか一方の電極及び圧電体層70から構成され、両電極への電圧の印加により圧電歪みが生じる部分を圧電体能動部という。本実施形態では、下電極膜60は圧電素子300の共通電極とし、上電極膜80を圧電素子300の個別電極としているが、駆動回路や配線の都合でこれを逆にしても支障はない。何れの場合においても、各圧力発生室毎に圧電体能動部が形成されていることになる。また、ここでは、圧電素子300と当該圧電素子300の駆動により変位が生じる振動板とを合わせて圧電アクチュエータと称する。なお、このような各圧電素子3

00の上電極膜80には、例えば、金(Au)等からなるリード電極90がそれぞれ接続され、このリード電極90を介して各圧電素子300に選択的に電圧が印加されるようになっている。

[0047] また、流路形成基板10上の圧電素子300側の面には、圧電素子300に対向する領域にその運動を阻害しない程度の空間を確保可能な圧電素子保持部31を有する保護基板30が接合されている。圧電素子300は、この圧電素子保持部31内に形成されているため、外部環境の影響を殆ど受けない状態で保護されている。さらに、保護基板30には、流路形成基板10の連通部13に対応する領域にリザーバ部32が設けられている。このリザーバ部32は、本実施形態では、保護基板30を厚さ方向に貫通して圧力発生室12の並設方向に沿って設けられており、上述したように流路形成基板10の連通部13と連通されて各圧力発生室12の共通のインク室となるリザーバ100を構成している。

[0048] また、保護基板30の圧電素子保持部31とリザーバ部32との間の領域には、保護基板30を厚さ方向に貫通する貫通孔33が設けられ、この貫通孔33内に下電極膜60の一部及びリード電極90の先端部が露出され、これら下電極膜60及びリード電極90には、図示しないが、駆動ICから延設される接続配線の一端が接続される。

[0049] なお、保護基板30の材料としては、例えば、ガラス、セラミックス材料、金属、樹脂等が挙げられるが、流路形成基板10の熱膨張率と略同一の材料で形成されていることがより好ましく、本実施形態では、流路形成基板10と同一材料のシリコン単結晶基板を用いて形成した。

[0050] また、保護基板30上には、封止膜41及び固定板42とからなるコンプライアンス基板40が接合されている。封止膜41は、剛性が低く可撓性を有する材料(例えば、厚さが6 μ mのポリフェニレンサルファイド(PPS)フィルム)からなり、この封止膜41によってリザーバ部32の一方面が封止されている。また、固定板42は、金属等の硬質の材料(例えば、厚さが30 μ mのステンレス鋼(SUS)等)で形成される。この固定板42のリザーバ100に対向する領域は、厚さ方向に完全に除去された開口部43となっているため、リザーバ100の一方面は可撓性を有する封止膜41のみで封止されている。

- [0051] このような本実施形態のインクジェット式記録ヘッドでは、図示しない外部インク供給手段からインクを取り込み、リザーバ100からノズル開口21に至るまで内部をインクで満たした後、図示しない駆動ICからの記録信号に従い、圧力発生室12に対応するそれぞれの下電極膜60と上電極膜80との間に電圧を印加し、弾性膜50、絶縁体膜55、下電極膜60及び圧電体層70をたわみ変形させることにより、各圧力発生室12内の圧力が高まりノズル開口21からインク滴が吐出する。
- [0052] ここで、このようなインクジェット式記録ヘッドの製造方法について、図3ー図5を参照して説明する。なお、図3ー図5は、圧力発生室12の長手方向の断面図である。まず、図3(a)に示すように、シリコンウェハである流路形成基板用ウェハ110を約1100℃の拡散炉で熱酸化し、その表面に弾性膜50を構成する二酸化シリコン膜51を形成する。なお、本実施形態では、流路形成基板用ウェハ110として、膜厚が約625 μ mと比較的厚く剛性の高いシリコンウェハを用いている。
- [0053] 次に、図3(b)に示すように、弾性膜50(二酸化シリコン膜51)上に、酸化ジルコニウムからなる絶縁体膜55を形成する。具体的には、弾性膜50上に、例えば、DCスパッタ法により所定厚さ、本実施形態では、約300nmのジルコニウム層を形成する。そして、ジルコニウム層が形成された流路形成基板用ウェハ110を、700℃以上に加熱した熱拡散炉に200mm/min以上の速度で挿入し、ジルコニウム層を熱酸化することにより酸化ジルコニウムからなる絶縁体膜55を形成する。
- [0054] ジルコニウム層の熱酸化に使用する拡散炉200は、例えば、図6に示すように、一端側に炉口201を有すると共に他端に反応ガスの送入口202を有する炉心管203と、炉心管203の外側に配置されたヒータ204とで構成され、炉口201はシャッタ205により開閉可能となっている。そして、本実施形態では、ジルコニウム層が形成された複数枚の流路形成基板用ウェハ110を、固定治具であるボート206に固定し、このボート206を200mm/min以上の速度で約900℃に加熱された拡散炉200内に挿入し、シャッタ205を閉じた状態で約1時間、ジルコニウム層を熱酸化して絶縁体膜55を形成した。
- [0055] このボート206の挿入速度(以下、ボートロードスピード)は少なくとも200mm/minよりも速ければよいが、500mm/min以上とするのが好ましい。また、流路形成基

板用ウェハ110が拡散炉200内に挿入される際のジルコニウム層の昇温レートは、300°C/min以上であることが好ましい。このため、ボートロードスピードは、このような昇温レートとなるように、拡散炉200の加熱温度に応じて適宜調整するのが好ましい。

- [0056] このようにジルコニウム層が形成された流路形成基板用ウェハ110を、700°C以上に加熱された拡散炉200に、200mm/minよりも速いボートロードスピードで挿入してジルコニウム層を熱酸化することで、絶縁体膜55を緻密な膜に形成することができ、絶縁体膜55にクラックが発生するのを防止できる。また、絶縁体膜55の密着性が向上するため、圧電素子300の駆動によって繰り返し変形した場合でも、絶縁体膜55の剥がれを防止することができる。
- [0057] ここで、拡散炉200の温度を約900°C一定として、ボートロードスピード20mm/min〜1500mm/minまで変化させて酸化ジルコニウム層(絶縁体膜)を形成し、これらの酸化ジルコニウム層に対してスクラッチ試験を行って密着力を調べた。その結果を図7に示す。図7に示すように、酸化ジルコニウム層(絶縁体膜)の密着力は、ボートロードスピードが速くなるに連れて大きくなり、ボートロードスピードが200mm/minよりも大きければ、少なくとも150mN以上の密着力が得られた。この結果から明らかに、絶縁体膜55の密着力を得るためには、ボートロードスピードはなるべく速くすることが望ましいが、ボートロードスピードが200mm/minよりも大きければ、十分な密着力を有する絶縁体膜55を形成することができる。
- [0058] また、拡散炉200の加熱温度は、700°C以上であれば特に限定されないが、850°C以上1000°C以下とすることが望ましい。拡散炉200の加熱温度をこのような温度範囲に設定することで、絶縁体膜55の応力は、弱い引張り応力、具体的には、-100MPa〜-250MPa程度になり、弾性膜50等の他の膜の応力とのバランスがとれるため、絶縁体膜55の応力に起因するクラックの発生や絶縁体膜55の剥がれ等を防止することができるからである。
- [0059] ここで、異なるスパッタ温度で形成したジルコニウム層を異なる熱酸化温度で形成したときの酸化ジルコニウム層(絶縁体膜)の応力の変化を調べた。その結果を図8に示す。なお、このときのボートロードスピードは、500mm/min一定とした。図8に示

すように、熱酸化温度を900℃とした場合、ジルコニウム層を形成する際のスパッタ温度に拘わらず、酸化ジルコニウム層の応力は、約-200MPa程度であった。一方、熱酸化温度を800℃程度とした場合、酸化ジルコニウム層の応力は、熱酸化温度を900℃とした場合の約1/4程度(約-50MPa程度)であった。

[0060] このように酸化ジルコニウム層(絶縁体膜)の応力は、スパッタ温度にも若干影響されるが、熱酸化温度によって大きく変化する。すなわち、熱酸化温度を高くするほど引張り応力が大きくなる傾向にある。そして、熱酸化温度(拡散炉の温度)を約850℃以上1000℃以下とすれば、絶縁体膜55の応力が-100MPa〜-250MPa程度となる。

[0061] さらにここで、熱酸化温度(拡散炉の温度)を900℃一定として、ボートロードスピードを変化させたときの酸化ジルコニウム層(絶縁体膜)の応力を調べた。その結果を図9に示す。図9に示すように、酸化ジルコニウム層の引張り応力は、ボートロードスピードが上昇するに連れて小さくなる傾向にあることは明らかである。そして、ボートロードスピードを200mm/minよりも速くすることで、酸化ジルコニウム層(絶縁体膜)の応力が-250MPaよりも大きく、すなわち、酸化ジルコニウム層の引張り応力が250MPaよりも小さくなる。

[0062] 以上説明したように、拡散炉200の温度を約850℃以上1000℃以下とし、且つボートロードスピードを約200mm/minよりも速くすることで、絶縁体膜55を緻密で密着力の高い膜とすることができる。さらに、絶縁体膜55の応力が-100MPa〜-250MPa程度となり、他の膜の応力とのバランスが取れるため、絶縁体膜55を形成する際、あるいは後述する工程で圧力発生室12を形成する際等に、応力に起因して絶縁体膜55にクラックが発生したり、絶縁体膜55が剥がれたりしてしまうのを防止することができる。

[0063] なお、このような絶縁体膜55を形成した後は、図3(c)に示すように、例えば、白金とイリジウムとを絶縁体膜55上に積層することにより下電極膜60を形成後、この下電極膜60を所定形状にパターニングする。次いで、図3(d)に示すように、例えば、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)からなる圧電体層70と、例えば、イリジウムからなる上電極膜80とを流路形成基板用ウェハ110の全面に形成する。ここで、本実施形態では、

金属有機物を触媒に溶解・分散したいわゆるゾルを塗布乾燥してゲル化し、さらに高温で焼成することで金属酸化物からなる圧電体層70を得る、いわゆるゾルーゲル法を用いてチタン酸ジルコン酸鉛(PZT)からなる圧電体層70を形成している。また、このように圧電体層70を形成すると、焼成時に圧電体層70の鉛成分が弾性膜50に拡散する虞があるが、圧電体層70の下側には酸化ジルコニウムからなる絶縁体膜55が設けられているため、圧電体層70の鉛成分が弾性膜50に拡散するのを防止することができる。

[0064] なお、圧電体層70の材料としては、例えば、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)等の強誘電性圧電性材料に、ニオブ、ニッケル、マグネシウム、ビスマス又はイットリウム等の金属を添加したリラクサ強誘電体等を用いてもよい。その組成は、圧電素子の特性、用途等を考慮して適宜選択すればよいが、例えば、 PbTiO_3 (PT)、 PbZrO_3 (PZ)、 $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ (PZT)、 $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - \text{PbTiO}_3$ (PMN-PT)、 $\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - \text{PbTiO}_3$ (PZN-PT)、 $\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - \text{PbTiO}_3$ (PNN-PT)、 $\text{Pb}(\text{In}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3 - \text{PbTiO}_3$ (PIN-PT)、 $\text{Pb}(\text{Sc}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3 - \text{PbTiO}_3$ (PST-PT)、 $\text{Pb}(\text{Sc}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - \text{PbTiO}_3$ (PSN-PT)、 $\text{BiScO}_3 - \text{PbTiO}_3$ (BS-PT)、 $\text{BiYbO}_3 - \text{PbTiO}_3$ (BY-PT)等が挙げられる。また、圧電体層70の製造方法は、ゾルーゲル法に限定されず、例えば、MOD(Metal-Organic Decomposition)法等を用いてもよい。

[0065] 次いで、図4(a)に示すように、圧電体層70及び上電極膜80を、各圧力発生室12に対向する領域にパターンニングして圧電素子300を形成する。次に、リード電極90を形成する。具体的には、図4(b)に示すように、流路形成基板用ウェハ110の全面に亘って、例えば、金(Au)等からなる金属層91を形成する。その後、例えば、レジスト等からなるマスクパターン(図示なし)を介して金属層91を各圧電素子300毎にパターンニングすることでリード電極90が形成される。

[0066] 次に、図4(c)に示すように、流路形成基板用ウェハ110の圧電素子300側に、シリコンウェハであり複数の保護基板30となる保護基板用ウェハ130を接合する。なお、この保護基板用ウェハ130は、例えば、 $400\mu\text{m}$ 程度の厚さを有するため、保護基板用ウェハ130を接合することによって流路形成基板用ウェハ110の剛性は著しく向上

することになる。

[0067] 次いで、図4(d)に示すように、流路形成基板用ウェハ110をある程度の厚さとなるまで研磨した後、さらにフッ硝酸によってウェットエッチングすることにより流路形成基板用ウェハ110を所定の厚みにする。例えば、本実施形態では、約70 μ m厚になるように流路形成基板用ウェハ110をエッチング加工した。次いで、図5(a)に示すように、流路形成基板用ウェハ110上に、例えば、窒化シリコン(SiN)からなるマスク膜52を新たに形成し、所定形状にパターニングする。そして、このマスク膜52を介して流路形成基板用ウェハ110を異方性エッチングすることにより、図5(b)に示すように、流路形成基板用ウェハ110に圧力発生室12、連通部13及びインク供給路14等を形成する。

[0068] その後は、流路形成基板用ウェハ110及び保護基板用ウェハ130の外周縁部の不要部分を、例えば、ダイシング等により切断することによって除去する。そして、流路形成基板用ウェハ110の保護基板用ウェハ130とは反対側の面にノズル開口21が穿設されたノズルプレート20を接合すると共に、保護基板用ウェハ130にコンプライアンス基板40を接合し、流路形成基板用ウェハ110等を図1に示すような一つのチップサイズの流路形成基板10等に分割することによって、本実施形態のインクジェット式記録ヘッドとする。

[0069] なお、上述した製造方法によって製造されたインクジェット式記録ヘッドは、インクカートリッジ等と連通するインク流路を具備する記録ヘッドユニットの一部を構成して、インクジェット式記録装置に搭載される。図10は、そのインクジェット式記録装置の一例を示す概略図である。図10に示すように、インクジェット式記録ヘッドを有する記録ヘッドユニット1A及び1Bは、インク供給手段を構成するカートリッジ2A及び2Bが着脱可能に設けられ、この記録ヘッドユニット1A及び1Bを搭載したキャリッジ3は、装置本体4に取り付けられたキャリッジ軸5に軸方向移動自在に設けられている。この記録ヘッドユニット1A及び1Bは、例えば、それぞれブラックインク組成物及びカラーインク組成物を吐出するものとしている。そして、駆動モータ6の駆動力が図示しない複数の歯車およびタイミングベルト7を介してキャリッジ3に伝達されることで、記録ヘッドユニット1A及び1Bを搭載したキャリッジ3はキャリッジ軸5に沿って移動される。一方

、装置本体4にはキャリッジ軸5に沿ってプラテン8が設けられており、図示しない給紙ローラなどにより給紙された紙等の記録媒体である記録シートSがプラテン8上を搬送されるようになっている。

(実施形態2)

本実施形態は、インクジェット式記録ヘッド、特に、アクチュエータ装置の製造方法の他の例である。すなわち、本実施形態においても、実施形態1と同様の順序でインクジェット式記録ヘッドを製造するが(図3(a)ー図5(b)参照)、絶縁体膜55の製造方法が異なる。以下、本実施形態に係る絶縁体膜55の製造方法について説明する。

[0070] 具体的には、まず上述の実施形態と同様に、弾性膜50上に、例えば、DCスパッタ法により、約300nmの厚さでジルコニウム層を形成する。その後、本実施形態では、このジルコニウム層が形成された流路形成基板用ウェハ110を、例えば、RTA装置等で所定の昇温レートで所定の温度まで加熱することによって絶縁体膜55を形成した。

[0071] このようにジルコニウム層を熱酸化する際の昇温レートは、 $5^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 以上であることが好ましく、特に、 $50^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 以上と比較的速くするのが望ましい。さらに、このように昇温レートを比較的速くすることで、酸化ジルコニウムからなる絶縁体膜55の密度が $5\text{g}/\text{cm}^3$ となるようにするのが好ましい。また、ジルコニウム層を加熱する方法は、特に限定されないが、本実施形態のようにRTA (Rapid Thermal Annealing) 法を用いることが好ましい。これにより、昇温レートを比較的速くすることができる。また、ジルコニウム層を熱酸化する際の温度は、 800°C 以上 1000°C 以下とすることが好ましく、本実施形態では、約 900°C とした。

[0072] このように、ジルコニウム層を比較的速い昇温レートで加熱して酸化させることで、絶縁体膜55を緻密な膜に形成することができ、絶縁体膜55にクラックが発生するのを防止できる。具体的には、絶縁体膜55の密度が $5\text{g}/\text{cm}^3$ 以上となるようにすることで、絶縁体膜55にクラックが発生するのを確実に防止することができる。また、このように絶縁体膜55が緻密な膜となっていることで、PZTからなる圧電体層70の鉛成分が、この絶縁体膜55を介して流路形成基板用ウェハ110の表面に形成されている弾

性膜に拡散するのを防止することができるという効果もある。

[0073] ここで、ジルコニウム層を酸化させる際、下記表1に示すように昇温レートを変化させて絶縁体膜を形成し、且つこの絶縁体膜上に、下電極膜を形成することなくPZTからなる圧電体層を直接形成した複数のサンプル1〜5を作成した。そして、これらサンプル1〜5のサンプルについて、絶縁体膜の密度及び圧電体層のPb成分の弾性膜(流路形成基板用ウェハ)への拡散深さを調べた。その結果を下記表1に併せて示す。

[0074] [表1]

	酸化昇温レート (°C/sec)	密度 (g/cm ³)	Pb拡散深さ (nm)
サンプル1	0.1	4.13	60
サンプル2	4.5	4.80	45
サンプル3	6.0	5.01	40
サンプル4	15.0	5.32	40
サンプル5	19.0	5.37	40

[0075] 上記表1に示すように、絶縁体膜の密度は、ジルコニウム層の酸化昇温レートに比例して高くなる。そして、絶縁体膜の密度が5g/cm³を超えたあたり、すなわち、酸化昇温レートがおおよそ5°C/secを超えたあたりで、絶縁体膜の密度の上昇は止まり、それ以上昇温レートを速くしても、絶縁体膜の密度は略一定となることが分かった。例えば、昇温レートを約150°C/secとした場合でも、絶縁体膜の密度は、サンプル5とほぼ同一の値となる。また、Pbの拡散深さは、上記表1に示すように、絶縁体膜の密度の上昇に伴って減少することが分かった。

[0076] そして、このような結果から明らかなように、本実施形態のように、ジルコニウム層を酸化する際の昇温レートを、5°C/sec以上、好ましくは50°C/secとして絶縁体膜の密度が5g/cm³以上となるようにすることで、Pb成分の弾性膜(流路形成基板用ウェハ)への拡散を一定の値に抑えることができる。さらに、絶縁体膜の厚さを、40nm以上とすることで、Pb成分の弾性膜(流路形成基板用ウェハ)への拡散を確実に防止することができる。

[0077] さらに、本実施形態のように、ジルコニウム層を比較的速い昇温レートで加熱して熱酸化させることで、絶縁体膜55の弾性膜50との密着性が向上するため、圧電素子3

00の駆動によって繰り返し変形した場合でも、絶縁体膜55の剥がれを防止することができるという効果もある。

[0078] ここで、昇温レートの違いによる絶縁体膜の密着力について調べた。具体的には、弾性膜上に形成したジルコニウム層を形成し、昇温レート以外の条件は一定とし、昇温レートを15、50、100、150℃/secとしてジルコニウム層を熱酸化してサンプル6～9の絶縁体膜(酸化ジルコニウム層)を形成した。そして、これら各サンプルの絶縁体膜についてスクラッチ試験を行った。なお、スクラッチ試験は、図11に示すように、流路形成基板用ウェハ110の中心を基準点P0として、オリフラ面110aに対して垂直方向のy軸上の3ヶ所、具体的には、流路形成基板用ウェハ110の中心点P0と、y軸上の中心点からプラス方向に60mm離れた位置P1と、y軸上の中心点からマイナス方向に60mm離れた位置P2とでそれぞれ行った。その結果を図12に示す。図12に示すように、昇温レートが15℃/secであるサンプル6の絶縁体膜は、100mN程度の密着力であったが、昇温レートを50℃/secとしたサンプル7の絶縁体膜では、200mN程度の密着力が得られ、昇温レートを100℃/sec以上としたサンプル8及び9の絶縁体膜では、300mN前後と極めて良好な密着力が得られた。このように絶縁体膜の弾性膜に対する密着力は、ジルコニウム層を熱酸化する際の昇温レートを速くするに連れて大きくなる。具体的には、昇温レートを50℃/sec以上、特に、100℃/sec以上とすることで十分な密着力を得ることができる。

[0079] またここで、昇温レート以外の条件は一定とし、昇温レートを4、19、150℃/secとしてジルコニウム層を熱酸化することにより得たサンプル10～12の絶縁体膜55の断面SEM像を図13に示す。図13(a), (b)に示すように、サンプル10及び11の絶縁体膜55のように、比較的昇温レートを比較的遅くした場合、絶縁体膜55と弾性膜50との界面に、ガラス状の物質で構成される低密度層が形成されてしまう。なお、絶縁体膜55と弾性膜50との界面に黒く見える部分が低密度層である。サンプル10では、図中矢印で指し示すように、低密度層が明らかに存在していることが分かる。そして、この低密度層が存在すると、絶縁体膜55の弾性膜50に対する密着力が低下してしまう。これに対し、昇温レートを150℃/secと比較的高くしたサンプル12のSEM像では、図13(c)に示すように、低密度層は全く確認されなかった。

- [0080] これらの結果からも明らかなように、絶縁体膜55の密着力を得るためには、ジルコニウム層を熱酸化する際の昇温レートを比較的速く、具体的には、 $50^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 以上として、弾性膜50と絶縁体膜55との界面に低密度層が存在しないようにするのが好ましい。
- [0081] そして、本発明の製造方法では、このように形成した絶縁体膜55を所定温度でさらにアニール処理し、絶縁体膜55の応力を調整するようにしている。具体的には、上述したジルコニウム層を熱酸化する際の最高温度以下、本実施形態では、 900°C 以下の温度で絶縁体膜55をアニール処理し、その際の温度及び時間等の条件を変えることによって絶縁体膜55の応力を調整している。例えば、本実施形態では、加熱温度 850°C 、加熱時間1hの条件で絶縁体膜55をアニール処理することにより、絶縁体膜55の応力を調整した。熱酸化後の絶縁体膜55の応力が 2.4×10^8 程度の圧縮応力であったのに対し、アニール処理した結果、絶縁体膜55の応力は 2.94×10^8 程度の引張応力となった。
- [0082] このように、絶縁体膜55をアニール処理して応力の調整を行うことで、圧電素子を構成する各層を含む膜全体の応力バランスがとれるため、応力に起因する膜の剥がれや、クラックの発生を防止することができる。また、アニール処理時の加熱温度を、ジルコニウム層を熱酸化する際の最高温度以下とすることで、絶縁体膜55の密着力も維持することができる。なお、アニール処理時の加熱温度は、上記最高温度以下であれば特に限定されないが、できるだけ高温とするのが好ましい。絶縁体膜の応力は、上述したようにアニール処理時の加熱温度、加熱時間等の条件によって決まる。このため、加熱温度を高くすることで、比較的短時間で応力の調整(アニール処理)を終わらせて製造効率を向上することができるからである。
- [0083] ここで、アニール処理の前後での絶縁体膜の応力の変化について調べた。具体的には、弾性膜上に形成したジルコニウム層を、加熱温度 900°C 、加熱時間5secの条件で熱酸化することによって絶縁体膜を形成する。その後、この絶縁体膜を、加熱温度 900°C 、加熱時間60minの条件でアニール処理した。そして、アニール処理を行う際、所定経過時間毎に、絶縁体膜の反り量を調べた。その結果を図14に示す。なお、ここでいう反り量とは、流路形成基板用ウェハの中心部、約140mmスパンでの

絶縁体膜の反り量である。

[0084] 図14に示すように、アニール処理前の絶縁体膜の最大反り量は、約 $+30\mu\text{m}$ であった。すなわち、アニール処理前の絶縁体膜には、弾性膜側が凹となるように反りが生じていた。このような絶縁体膜の反り量はアニール処理時間15min程度までに大幅に変化するものの、その後もマイナス方向に徐々に変化し続けた。そして、アニール処理60min経過後の絶縁体膜は、最大反り量が約 $-40\mu\text{m}$ であり弾性膜側が凸となるように反りが生じていた。この結果から明らかなように、絶縁体膜55の応力はアニール処理の時間によって変化する。したがって、絶縁体膜のアニール処理時間を制御することで、絶縁体膜55を好ましい応力状態に調整することができる。勿論、絶縁体膜の応力は、アニール処理の時間だけでなく、温度を制御することによっても調整することはできる。

[0085] なお、このようなアニール処理による絶縁体膜の応力調整を、圧電体層の焼成時に行うことが考えられる。例えば、圧電体層70の焼成温度等の条件を変更することで、絶縁体膜の応力を調整することはできる。しかしながら、圧電体層の焼成温度等の条件を変更すると、形成された圧電体層の物性が変化してしまい、所望の特性が得られない虞があるため好ましくない。

[0086] また、このようにアニール処理を行うことにより、流路形成基板用ウェハの面内方向における絶縁体膜の密着力のばらつきも低減することができる。ここで、アニール処理を施していない比較例の絶縁体膜と、アニール処理を施した実施例の絶縁体膜とで、密着力のばらつきを調べた。具体的には、ジルコニウム層を、上述した条件で熱酸化して弾性膜上に絶縁体膜を形成した複数のサンプル(比較例1A、1B、1C)と、熱酸化後さらに絶縁体膜をアニール処理した複数のサンプル(実施例1A、1B、1C)とを作成した。そして、各実施例及び比較例のサンプルにおいて、絶縁体膜のスクラッチ試験を行った。なお、スクラッチ試験は、上述したように、流路形成基板用ウェハ110上の三点で行った(図11参照)。その結果を図15及び図16に示す。

[0087] 図15及び図16に示すように、比較例1A～1Cのサンプルでは、絶縁体膜の密着力に最大で30mN程度の差が生じていた。これに対し、実施例1A～1Cのサンプルでは、絶縁体膜の密着力にほとんど差が見られなかった。この結果から明らかなよう

に、熱酸化により絶縁体膜を形成後、絶縁体膜をさらにアニール処理することで、流路形成基板用ウェハの面内方向における絶縁体膜の密着力のばらつきを防止することができる。また、各流路形成基板用ウェハ毎の絶縁体膜の密着力のばらつきも極めて小さく抑えることができる。

[0088] (他の実施形態)

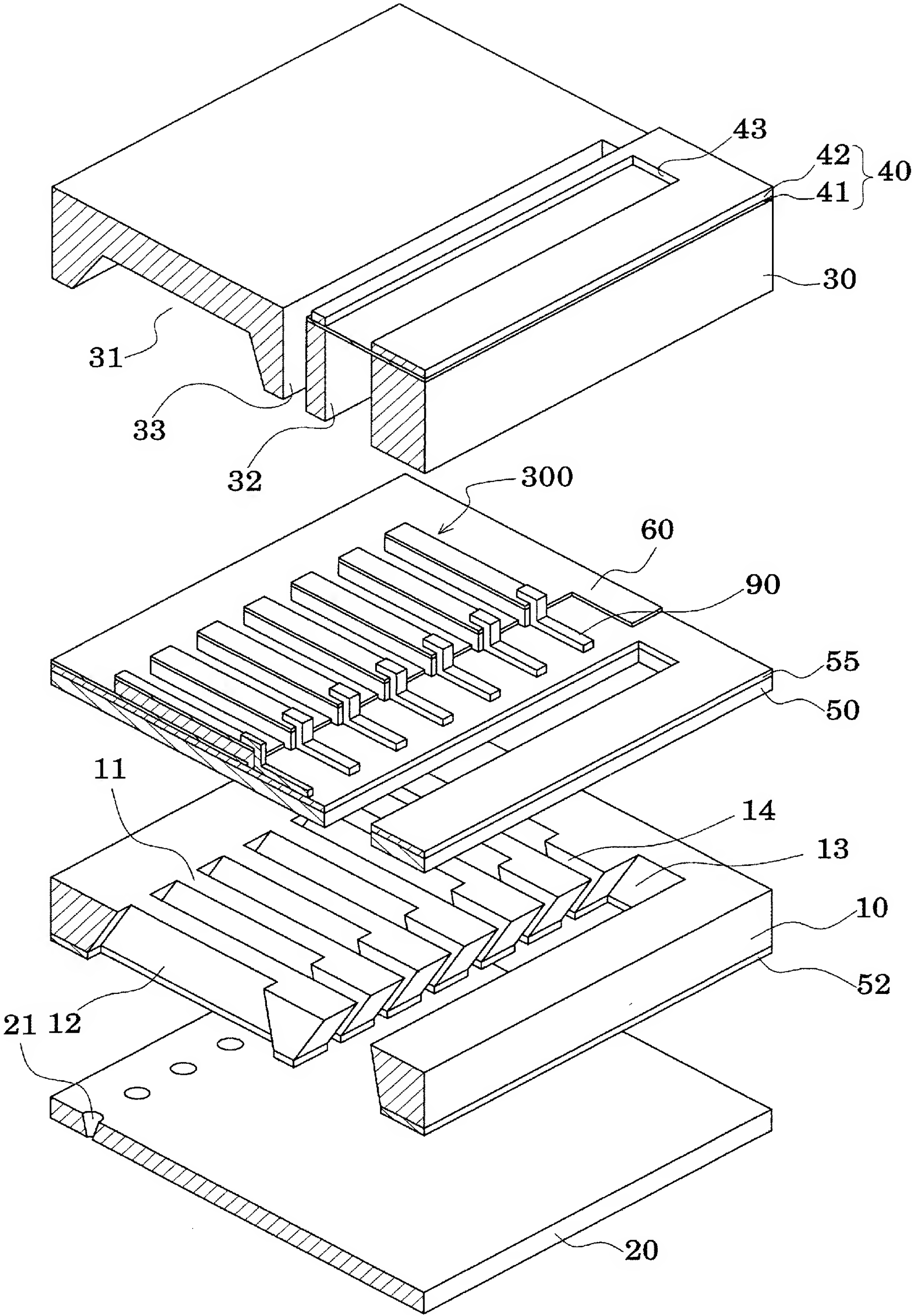
以上、本発明の各実施形態を説明したが、本発明は、上述した実施形態に限定されるものではない。例えば、上述の実施形態では、弾性膜50上に絶縁体膜55を形成するようにしたが、絶縁体膜55は、弾性膜50よりも圧電体層70側に設けられていればよく、例えば、弾性膜50と絶縁体膜55との間に他の層が設けられていてもよい。また、上述した実施形態においては、液体噴射装置に搭載されアクチュエータ装置を液体吐出手段として具備する液体噴射ヘッド、すなわち、インクジェット式記録ヘッドを一例として本発明を説明した。しかしながら、本発明は、広くアクチュエータ装置の全般を対象としたものであり、勿論、インク以外の液体を噴射する液体噴射ヘッドにも適用することができる。なお、その他の液体噴射ヘッドとしては、例えば、プリンタ等の画像記録装置に用いられる各種の記録ヘッド、液晶ディスプレイ等のカラーフィルタの製造に用いられる色材噴射ヘッド、有機ELディスプレイ、FED(面発光ディスプレイ)等の電極形成に用いられる電極材料噴射ヘッド、バイオchip製造に用いられる生体有機物噴射ヘッド等が挙げられる。また、本発明は、液体噴射ヘッドに搭載されるアクチュエータ装置だけでなく、あらゆる装置に搭載されるアクチュエータ装置に適用できる。アクチュエータ装置が搭載される他の装置としては、上述した液体噴射ヘッドの他に、例えば、センサー等が挙げられる。

請求の範囲

- [1] 基板の一方面に振動板を形成する工程と、該振動板上に下電極、圧電体層及び上電極からなる圧電素子を形成する工程とを具備し、前記振動板を形成する工程が、前記基板の一方面側にスパッタ法によりジルコニウム層を形成すると共に該ジルコニウム層が形成された前記基板を700℃以上に加熱した熱酸化炉に200mm/min以上の速度で挿入して当該ジルコニウム層を熱酸化することで酸化ジルコニウムからなる絶縁体膜を形成する絶縁体膜形成工程を少なくとも含むことを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法。
- [2] 請求の範囲1において、前記熱酸化炉の加熱温度を850℃以上1000℃以下とすることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法。
- [3] 請求の範囲1又は2において、前記基板を熱酸化炉に挿入する際の前記ジルコニウム層の昇温レートが、300℃/min以上であることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法。
- [4] 請求の範囲3において、前記絶縁体膜形成工程では、当該絶縁体膜の密度が5.0 g/cm³以上となるようにすることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法。
- [5] 請求の範囲4において、前記絶縁体膜を形成する工程では、当該絶縁体膜の膜厚が40nm以上となるようにすることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法。
- [6] 基板の一方面に振動板を形成する工程と、該振動板上に下電極、圧電体層及び上電極からなる圧電素子を形成する工程とを具備し、前記振動板を形成する工程が、前記基板の一方面側にジルコニウム層を形成すると共に該ジルコニウム層を所定の昇温レートで所定の温度まで加熱して熱酸化することにより酸化ジルコニウム層からなる絶縁体膜を形成する工程と、前記ジルコニウム層を熱酸化する際の最高温度以下の温度で前記絶縁体膜をアニール処理して当該絶縁体膜の応力を調整する工程とを少なくとも有することを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法。
- [7] 請求の範囲6において、前記ジルコニウム層を熱酸化する際の昇温レートを5℃/sec以上とすることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法。
- [8] 請求の範囲7において、前記ジルコニウム層を熱酸化する際の昇温レートを50℃/sec以上とすることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法。

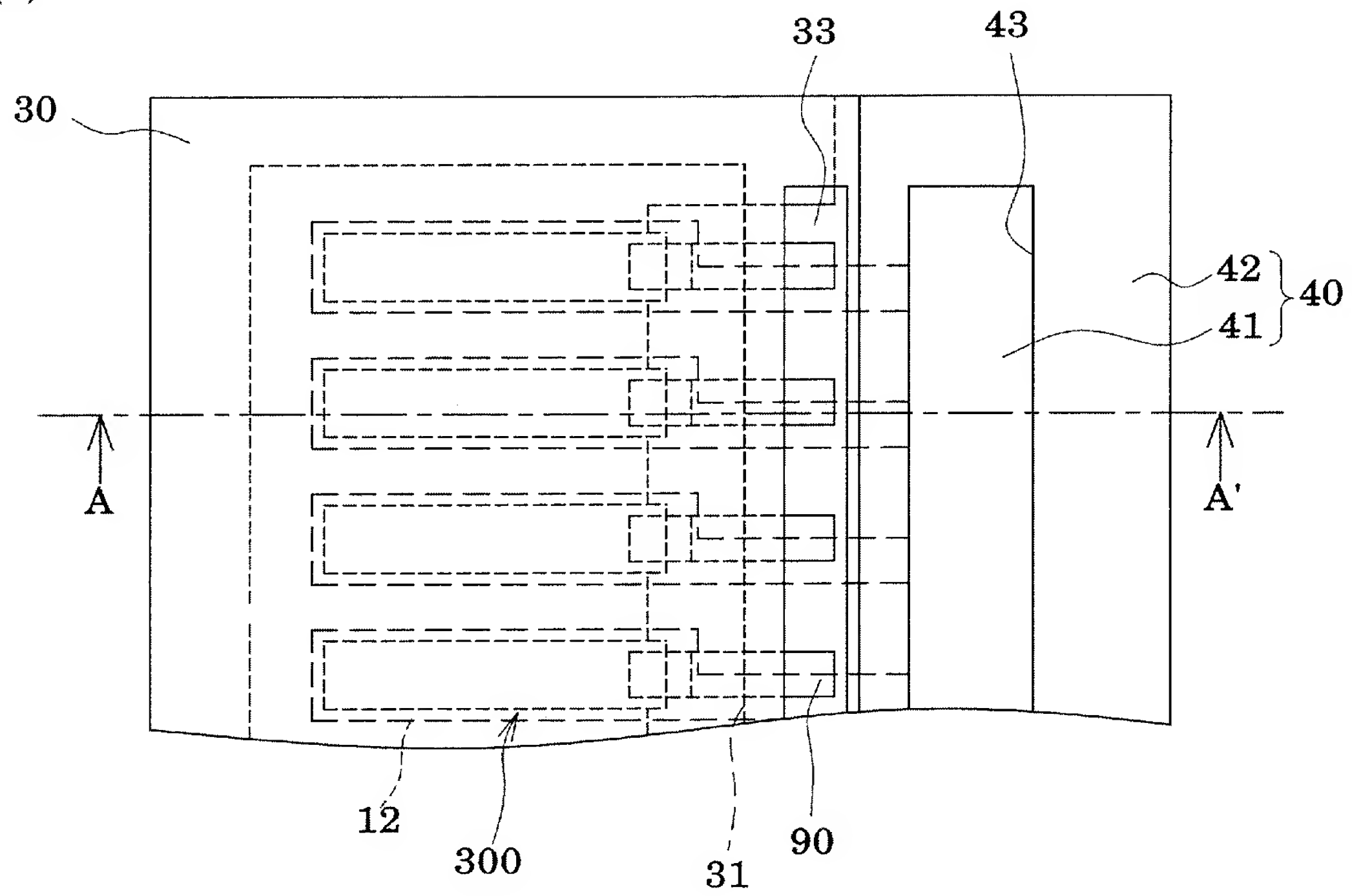
- [9] 請求の範囲8において、前記ジルコニウム層を熱酸化する際に、当該ジルコニウム層をRTA法によって加熱することを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法。
- [10] 請求の範囲7〜10の何れかにおいて、前記絶縁体膜を形成する工程では、当該絶縁体膜の密度が $5.0\text{g}/\text{cm}^3$ 以上となるようにすることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法。
- [11] 請求の範囲10において、前記絶縁体膜を形成する工程では、当該絶縁体膜の膜厚が40nm以上となるようにすることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法。
- [12] 請求の範囲6〜11の何れかにおいて、前記ジルコニウム層を熱酸化する際の温度を 800°C 以上 1000°C 以下とすることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法。
- [13] 請求の範囲12において、前記絶縁体膜をアニール処理する際の温度を 800°C 以上 900°C 以下とすることを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法。
- [14] 請求の範囲13において、前記絶縁体膜をアニール処理する時間を0.5時間以上2時間以下の範囲で調整することを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法。
- [15] 請求の範囲1〜14の何れかにおいて、前記振動板を形成する工程が、シリコン単結晶基板からなる前記基板の一方面に、酸化シリコン(SiO_2)からなる弾性膜を形成する工程を含み、前記絶縁体膜を該弾性膜上に形成することを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法。
- [16] 請求の範囲1〜15の何れかにおいて、前記圧電素子を形成する工程が、前記振動板上にチタン酸ジルコン酸鉛(PZT)からなる圧電体層を形成する工程を少なくとも含むことを特徴とするアクチュエータ装置の製造方法。
- [17] 請求の範囲1〜16の何れかの製造方法によって製造されたアクチュエータ装置を液体吐出手段とする液体噴射ヘッドを備えたことを特徴とする液体噴射装置。

[図1]

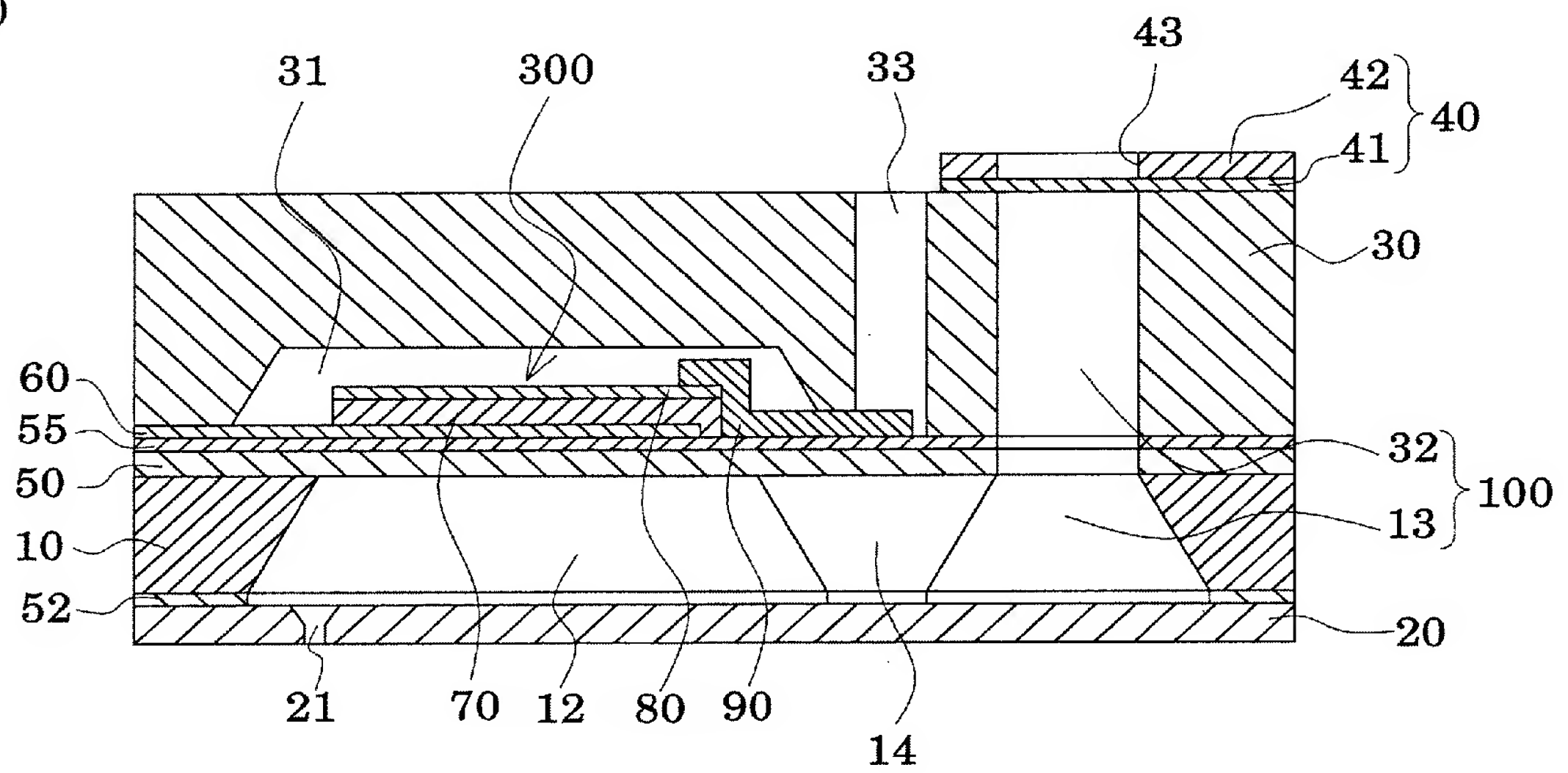


[図2]

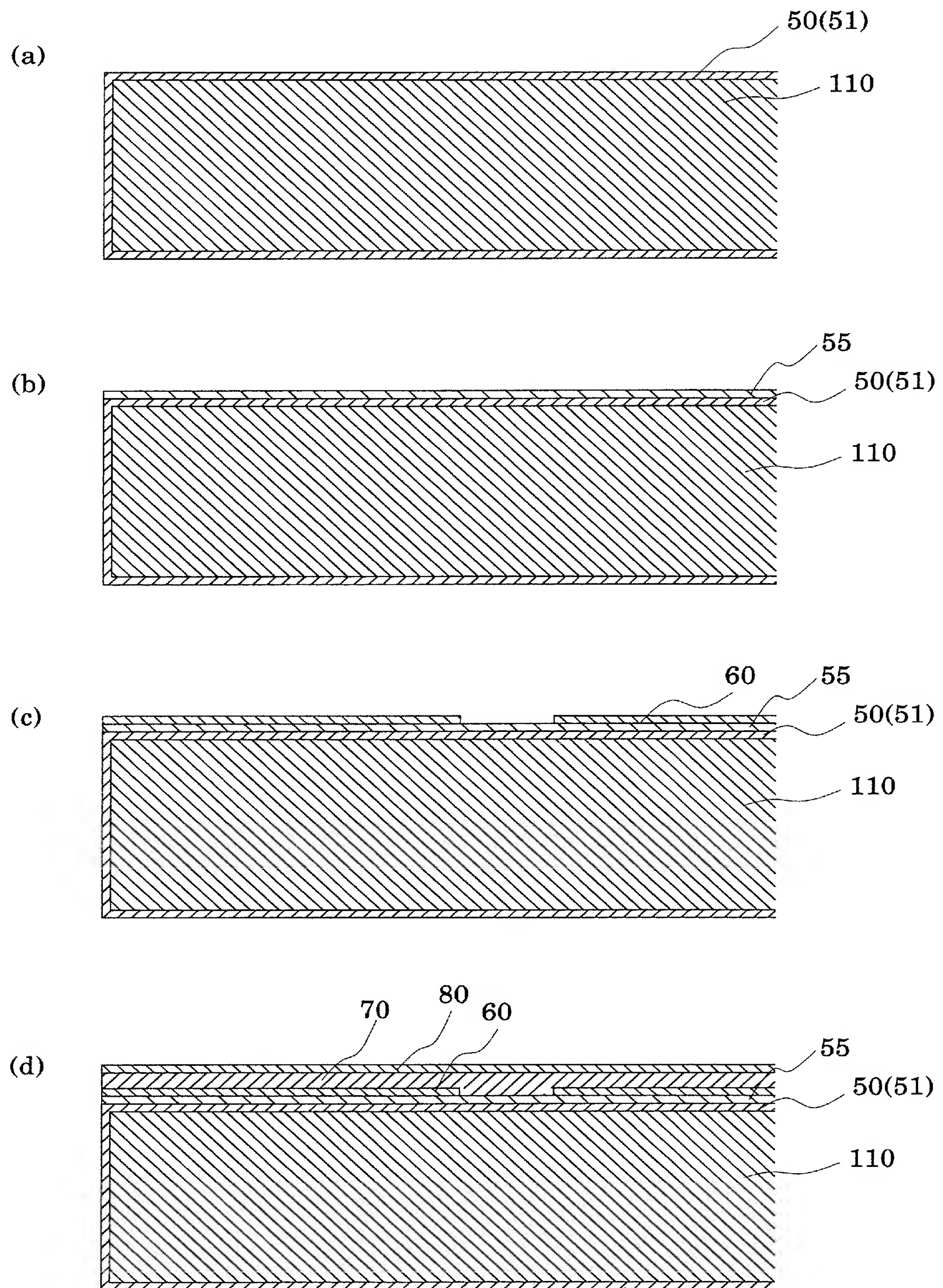
(a)



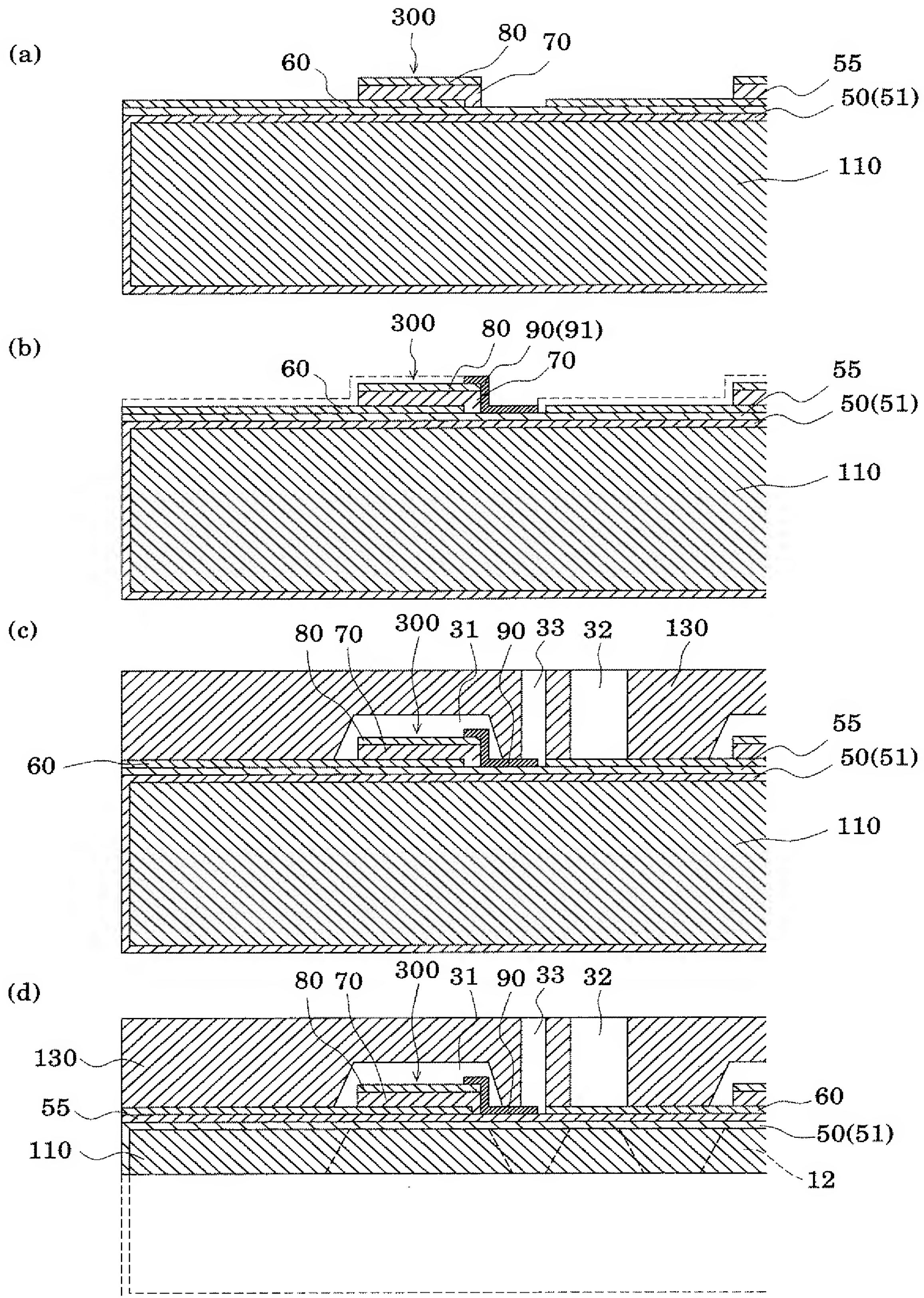
(b)



[図3]

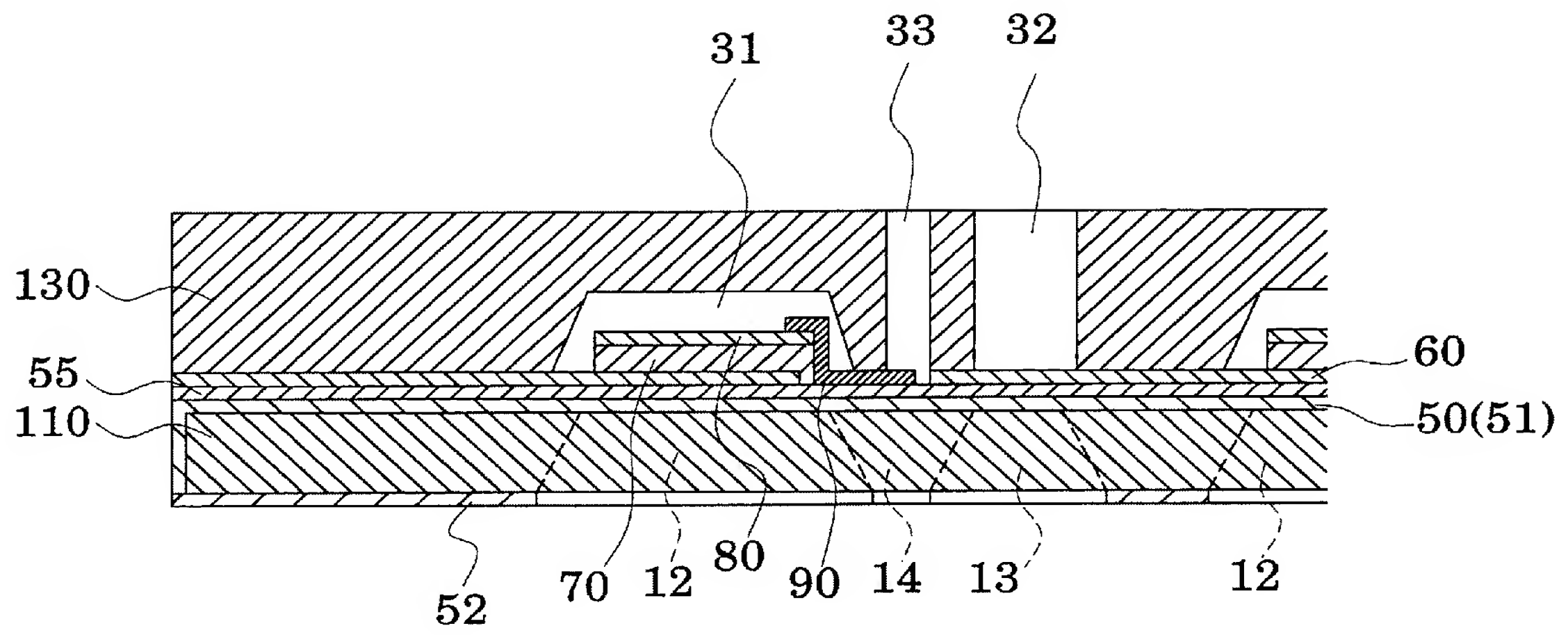


[図4]

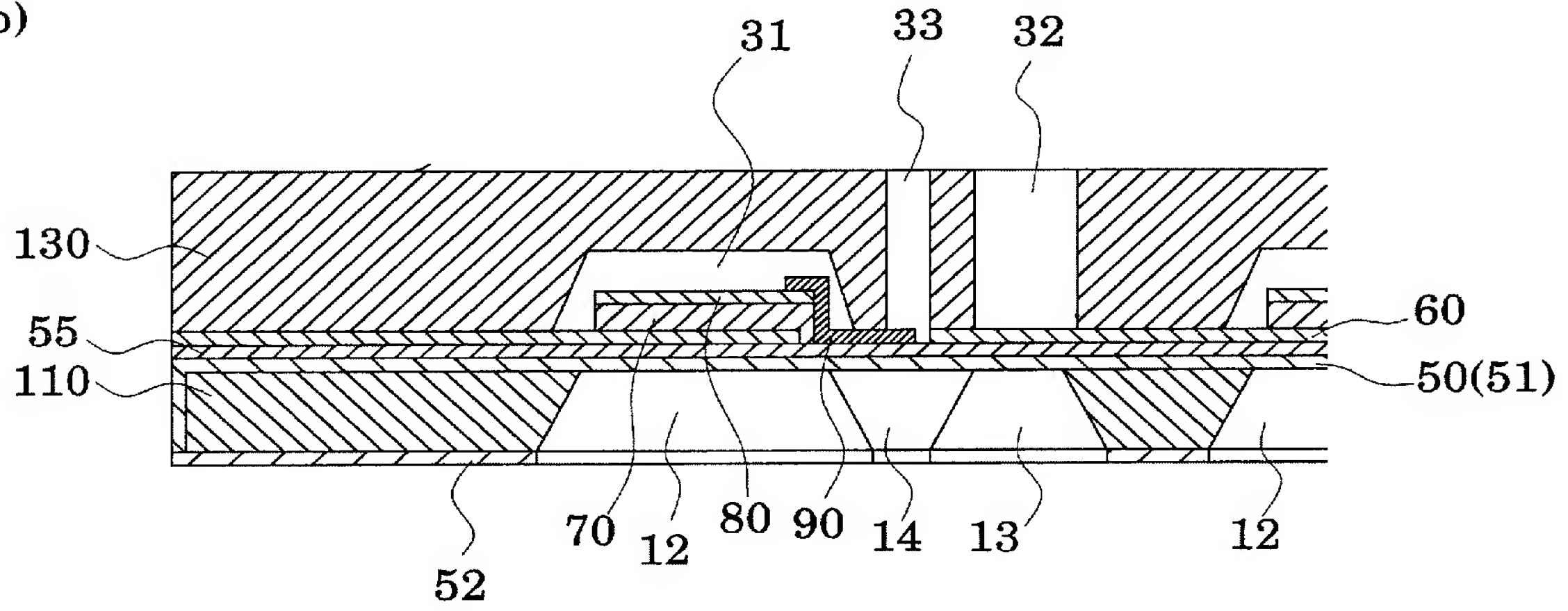


[図5]

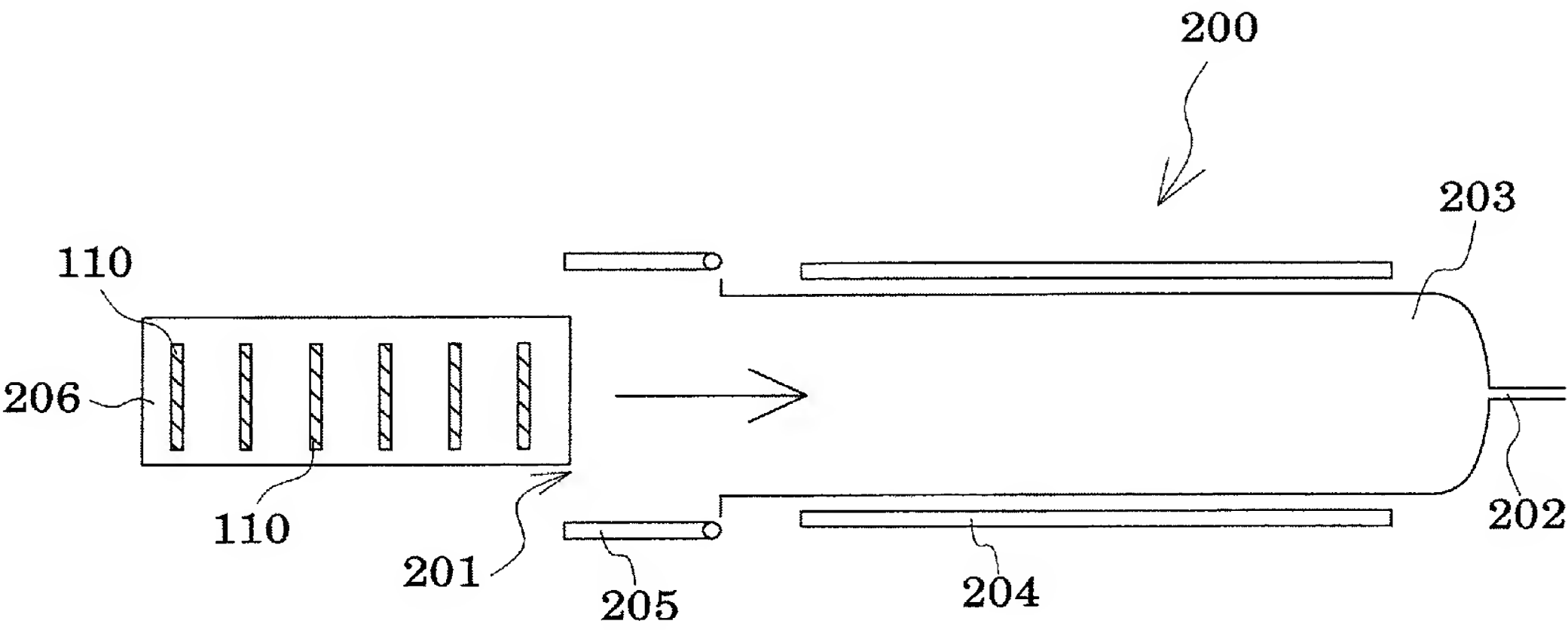
(a)



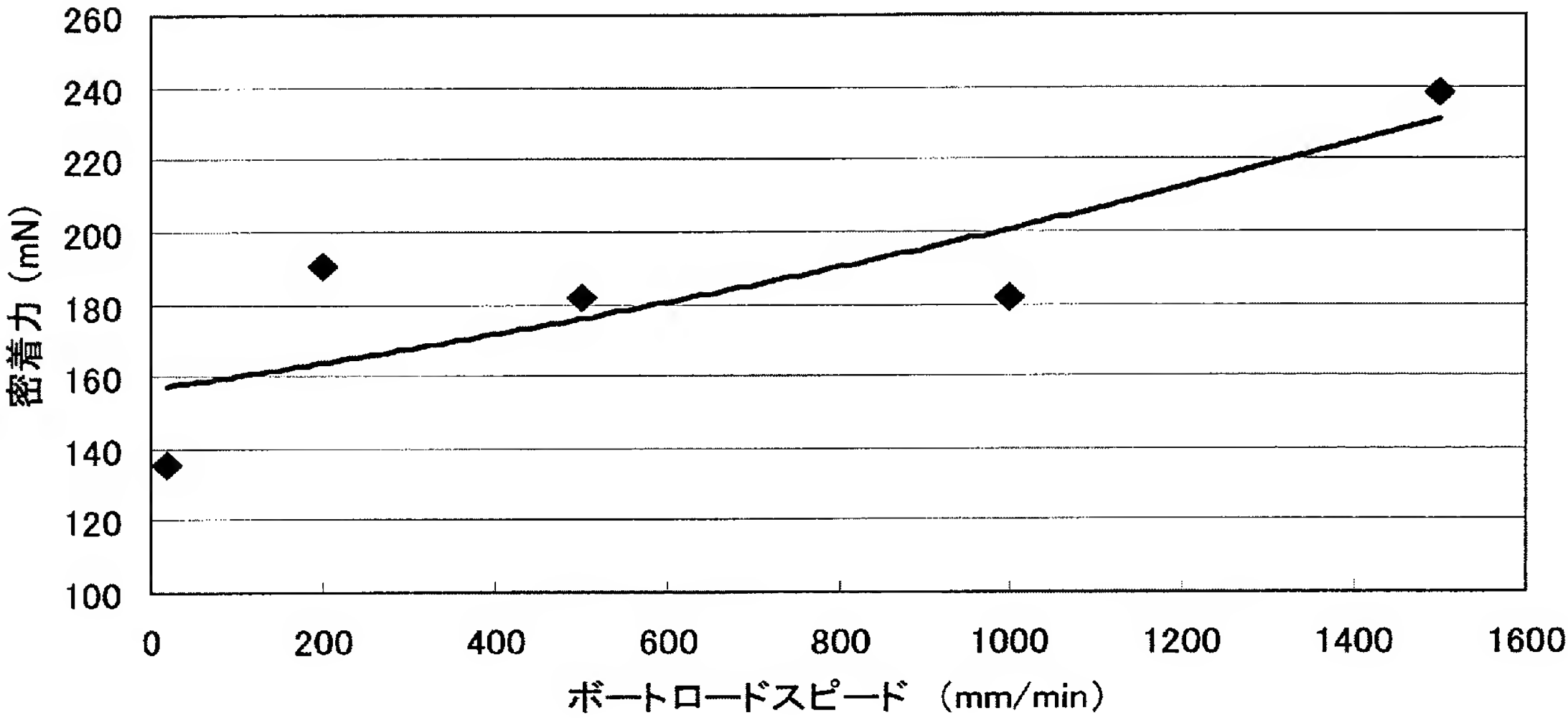
(b)



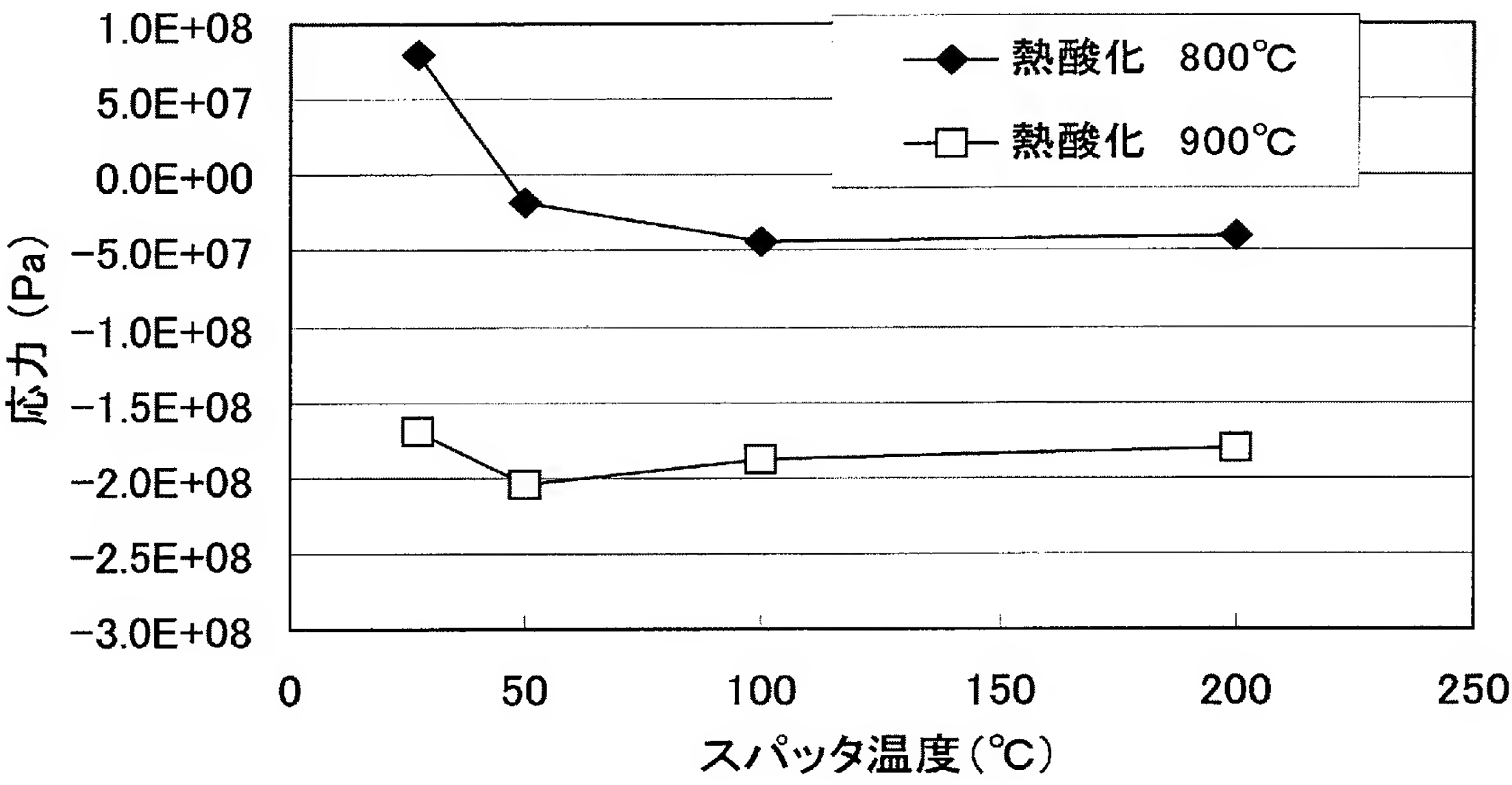
[図6]



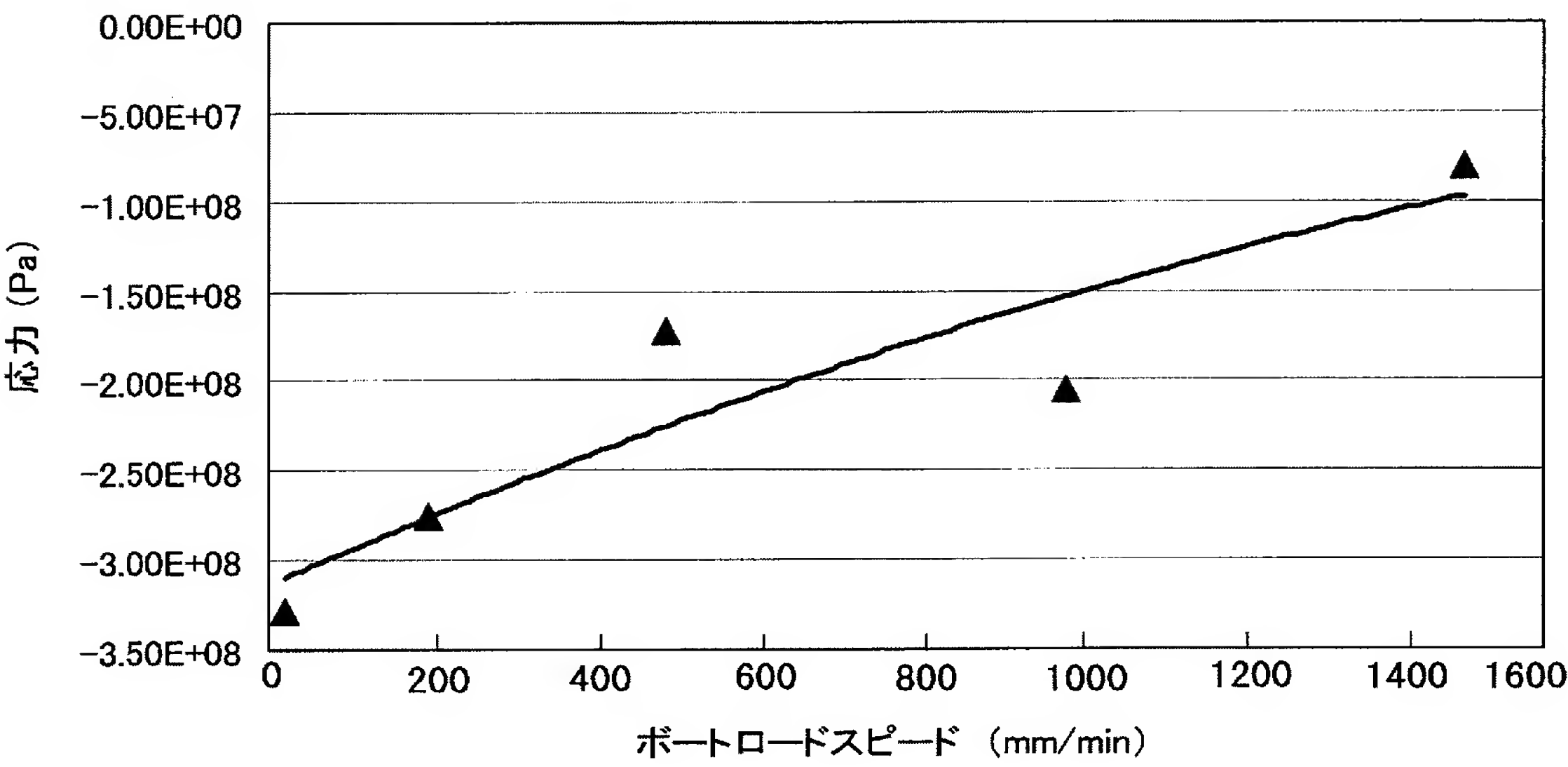
[図7]



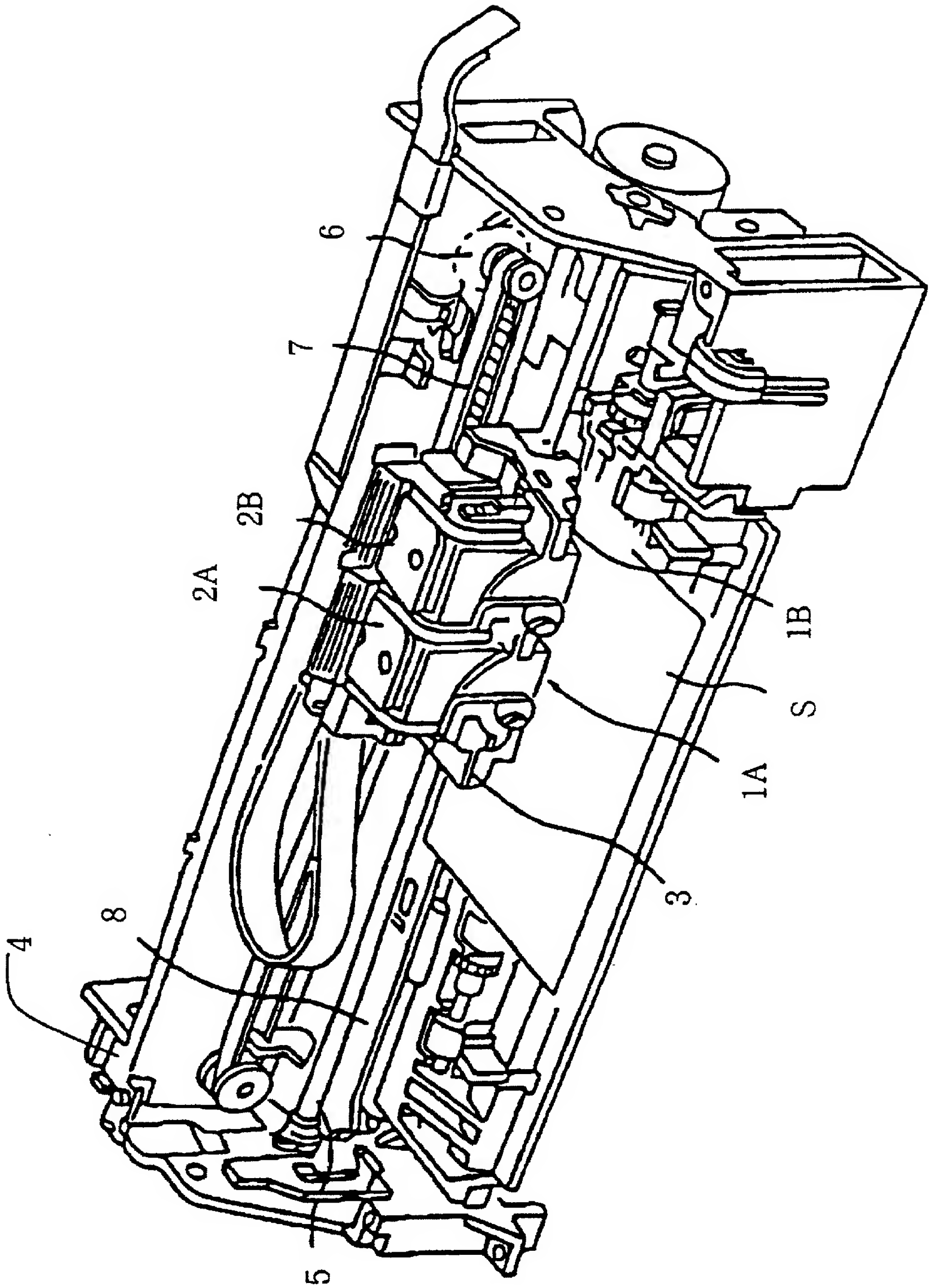
[図8]



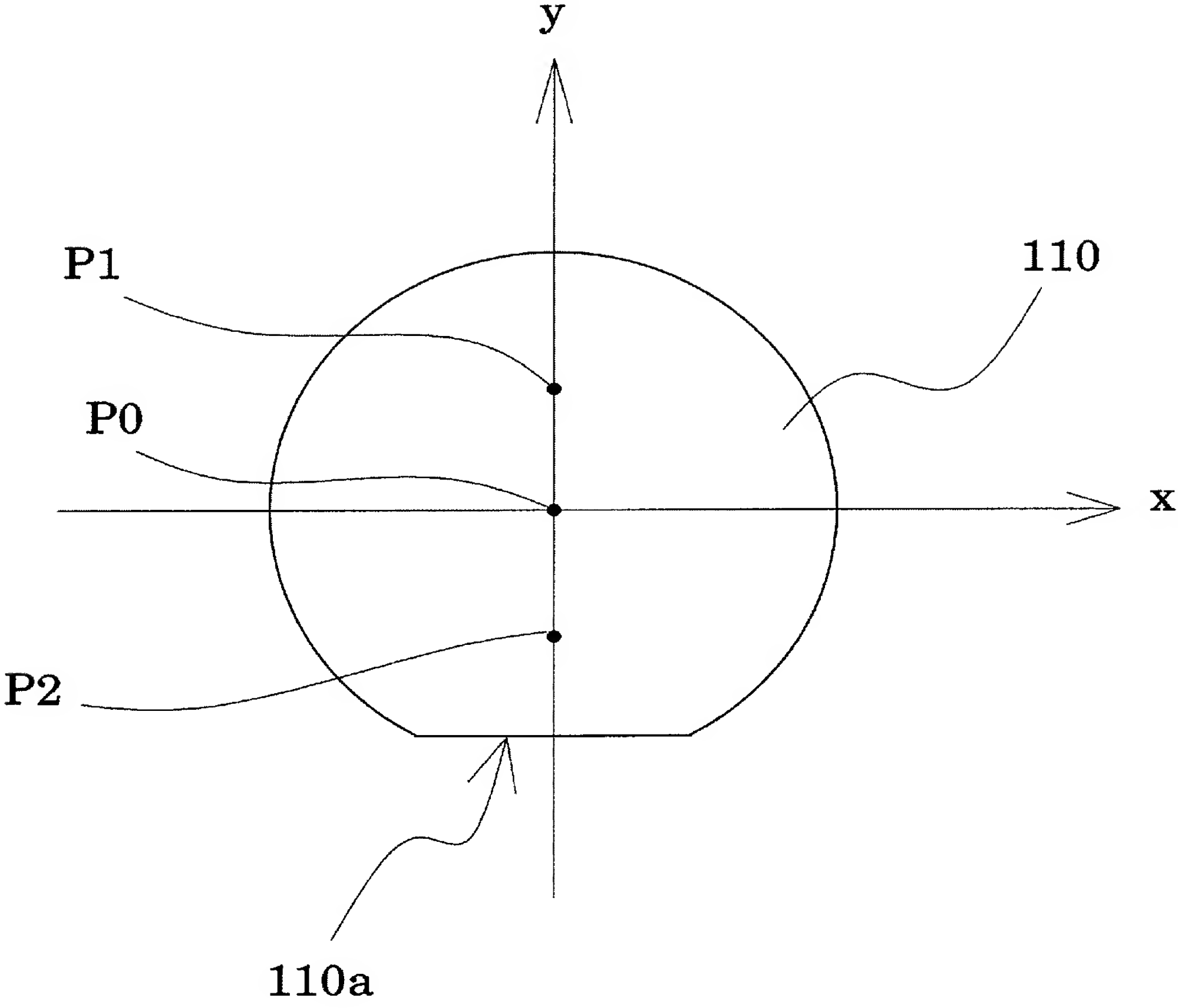
[図9]



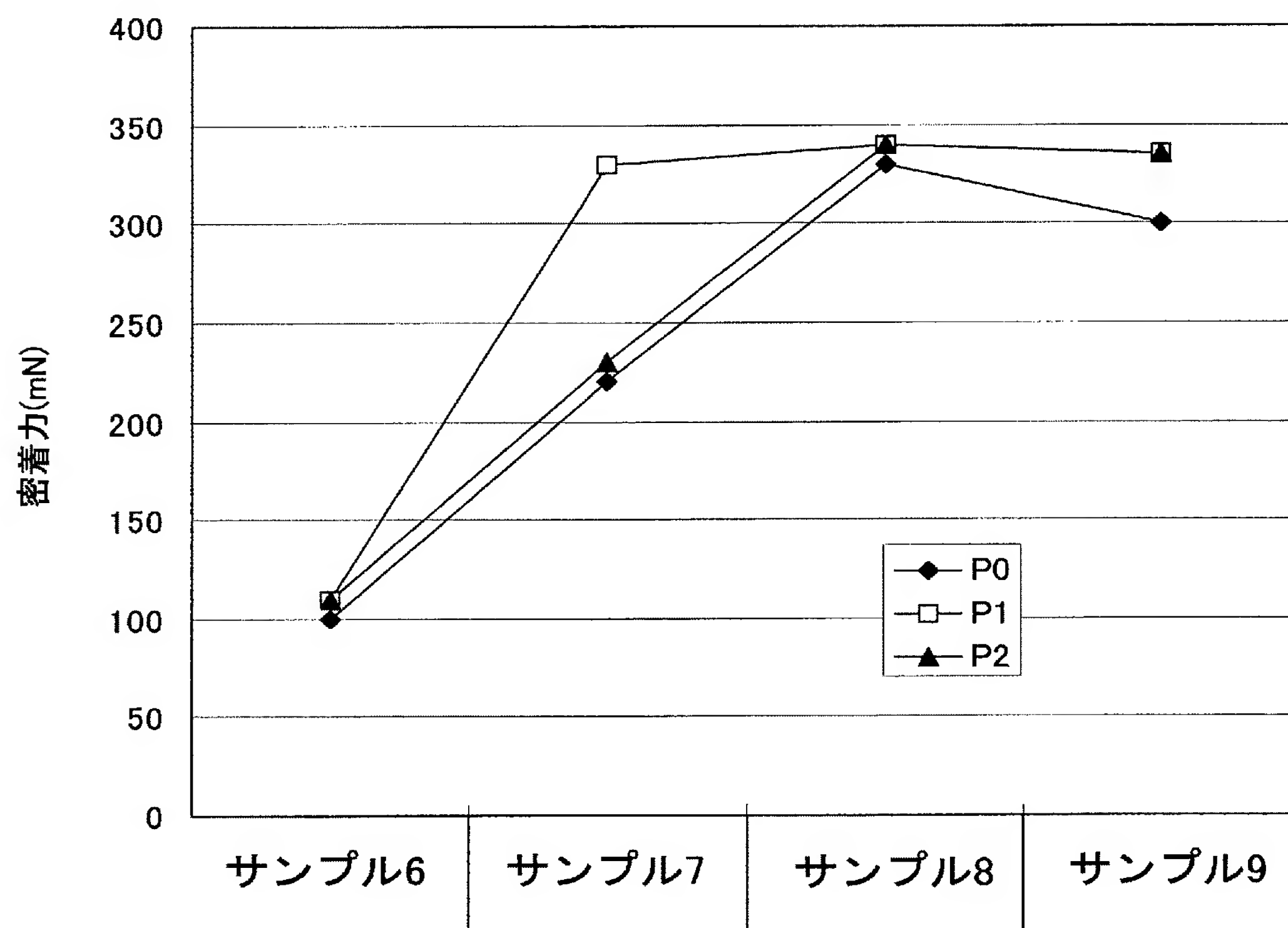
[図10]



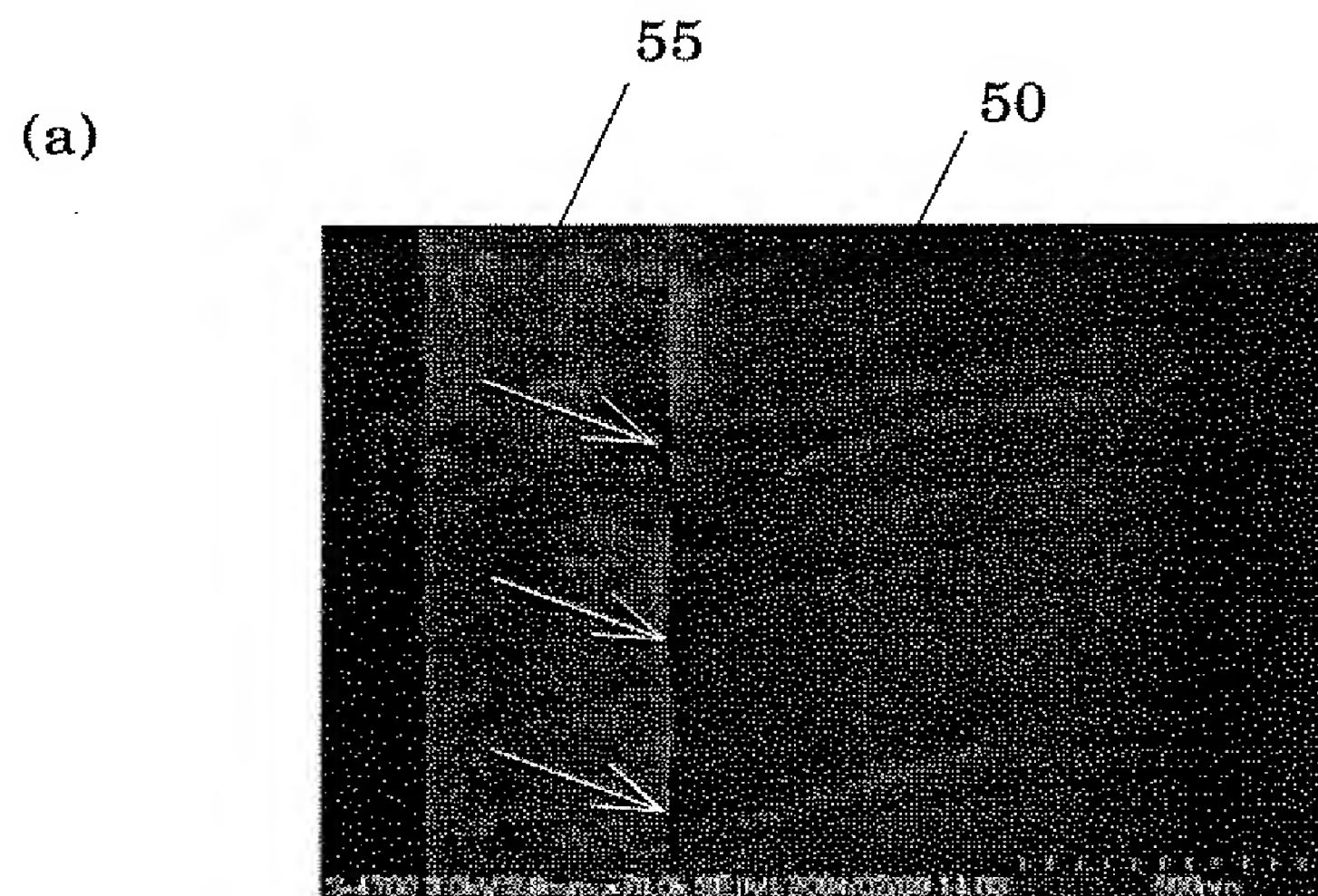
[図11]



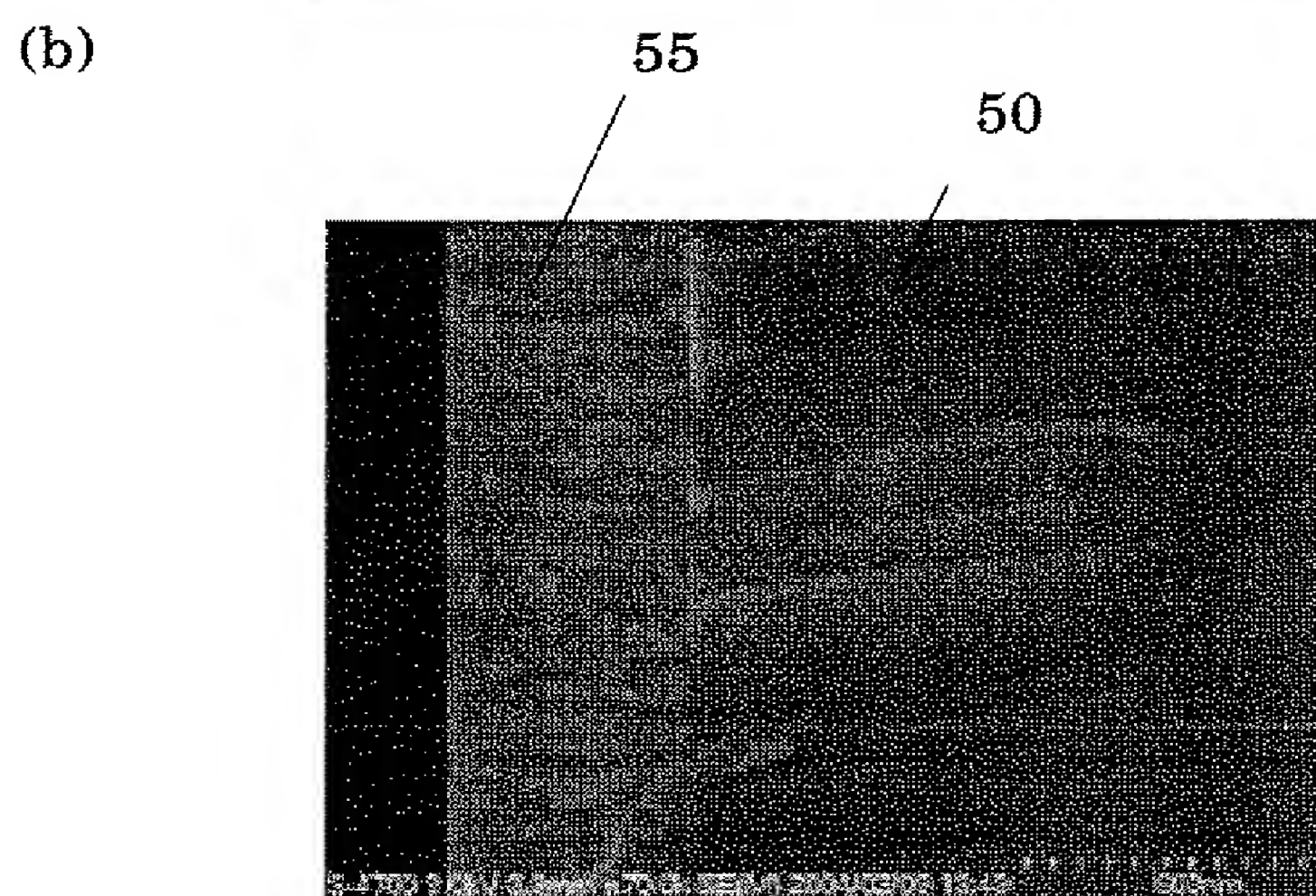
[図12]



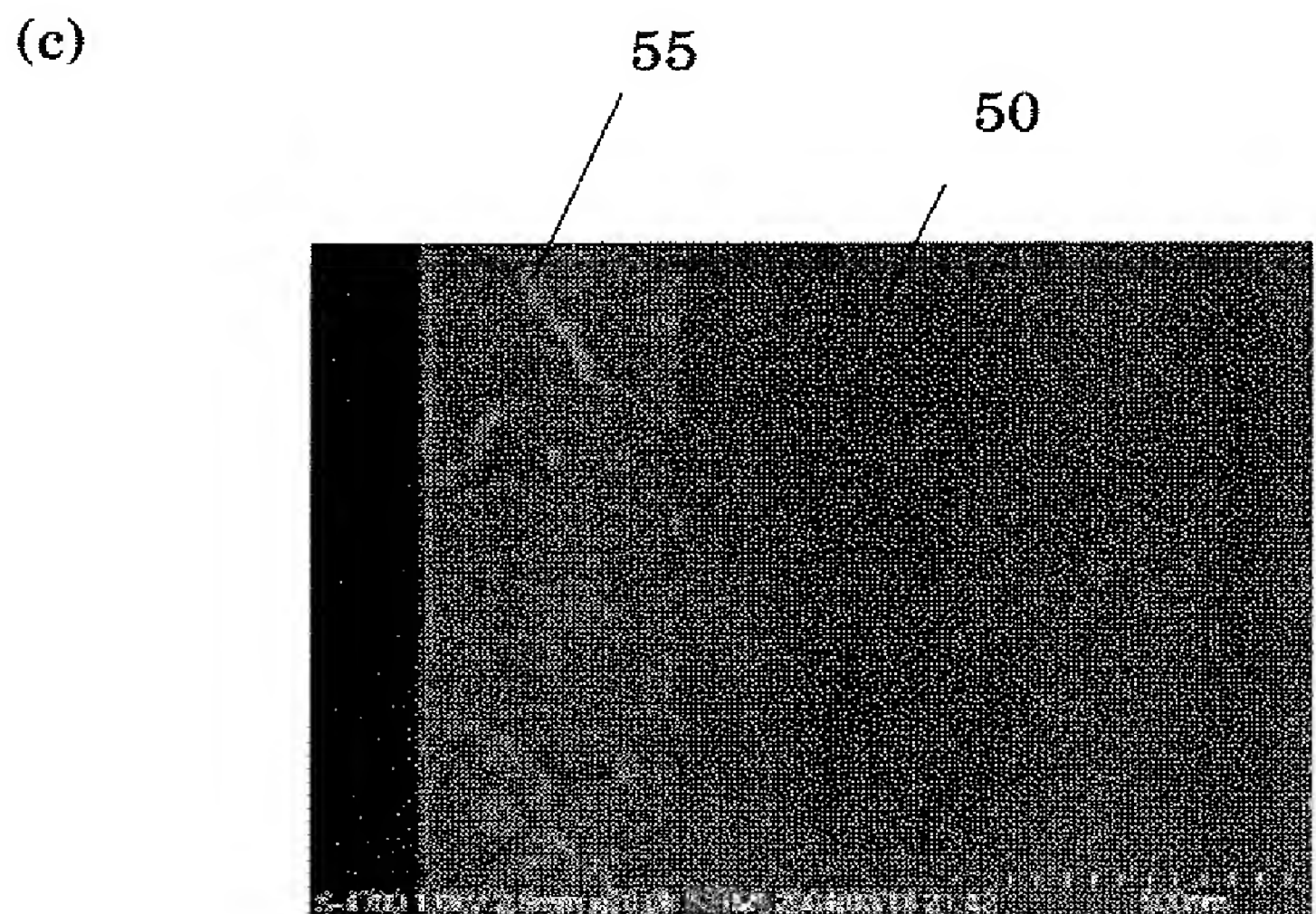
[図13]



サンプル10

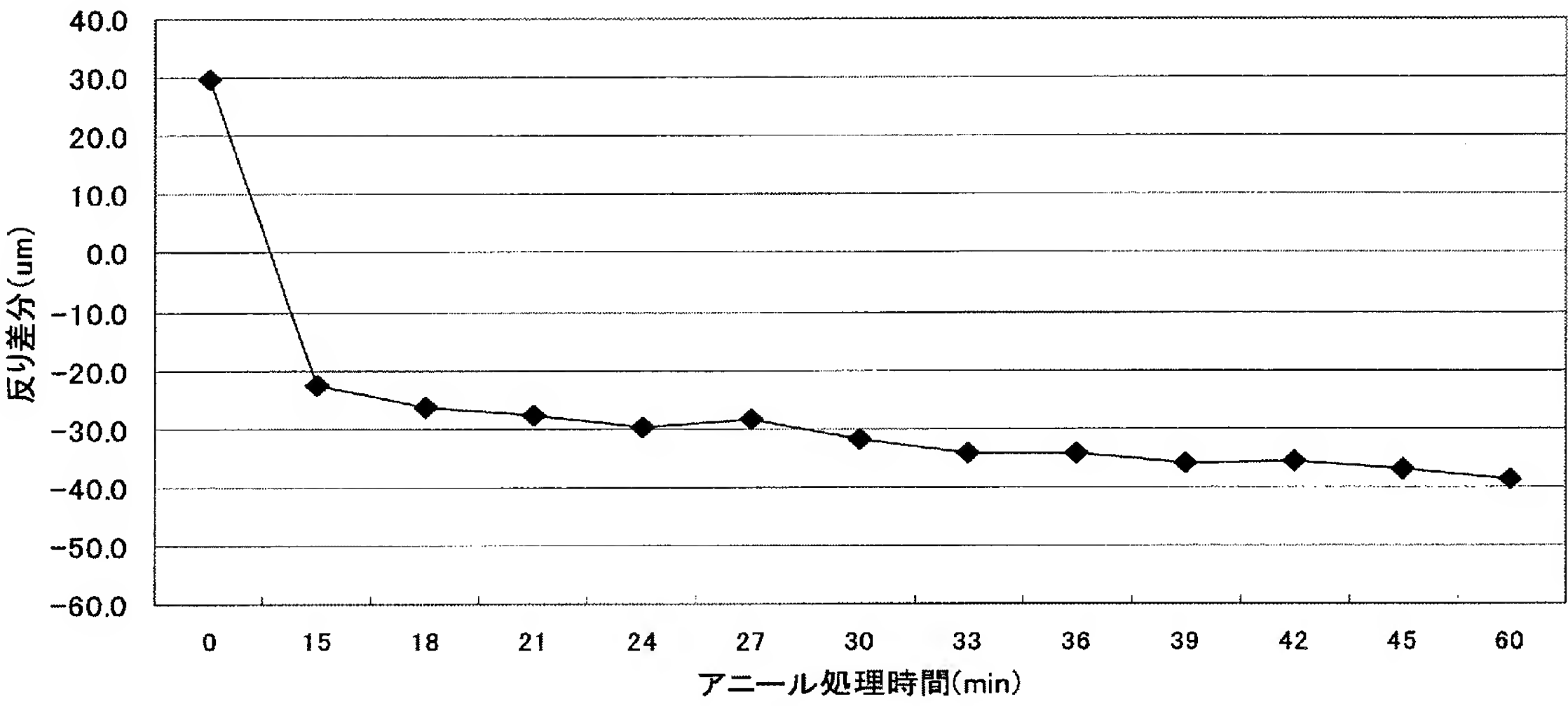


サンプル11

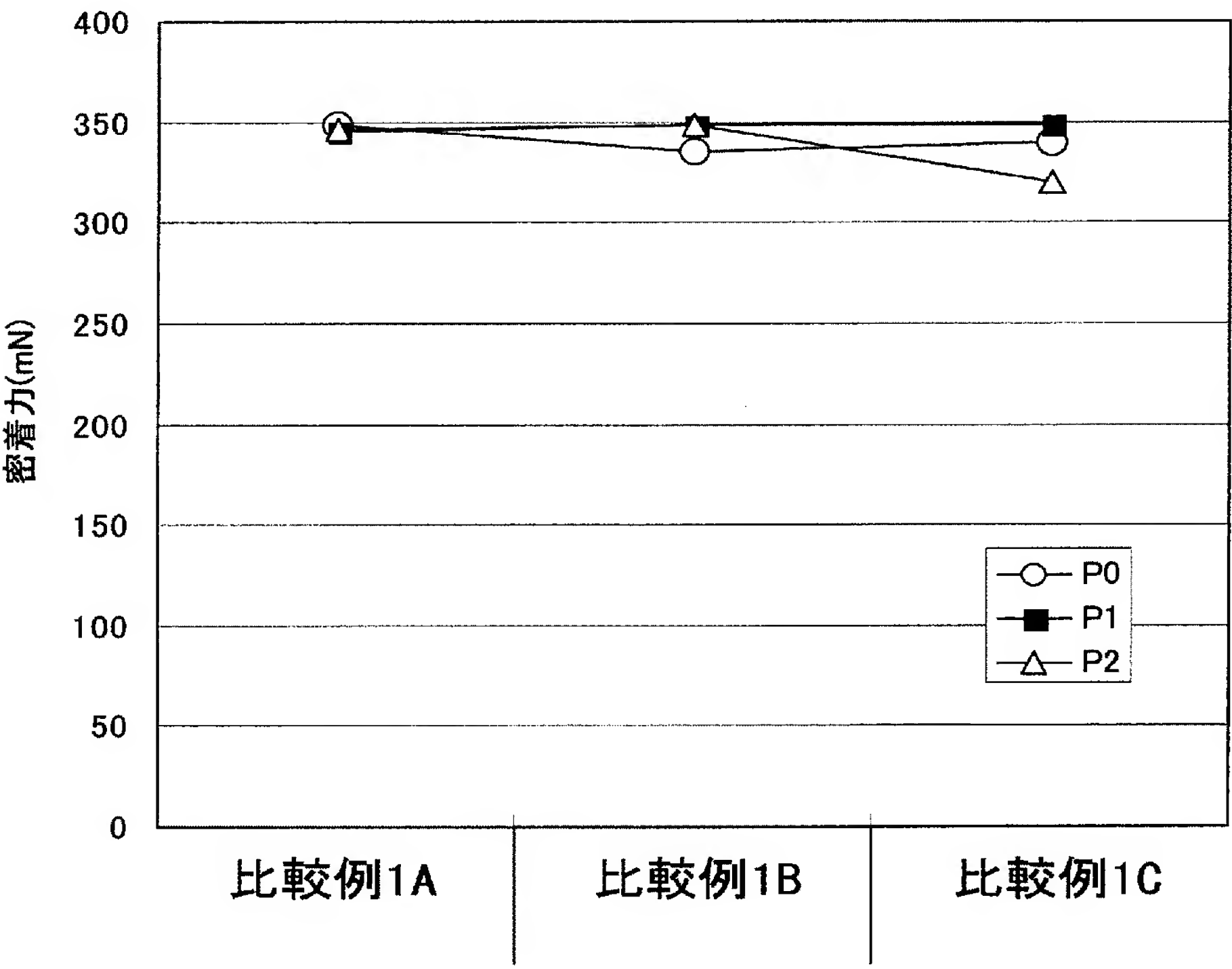


サンプル12

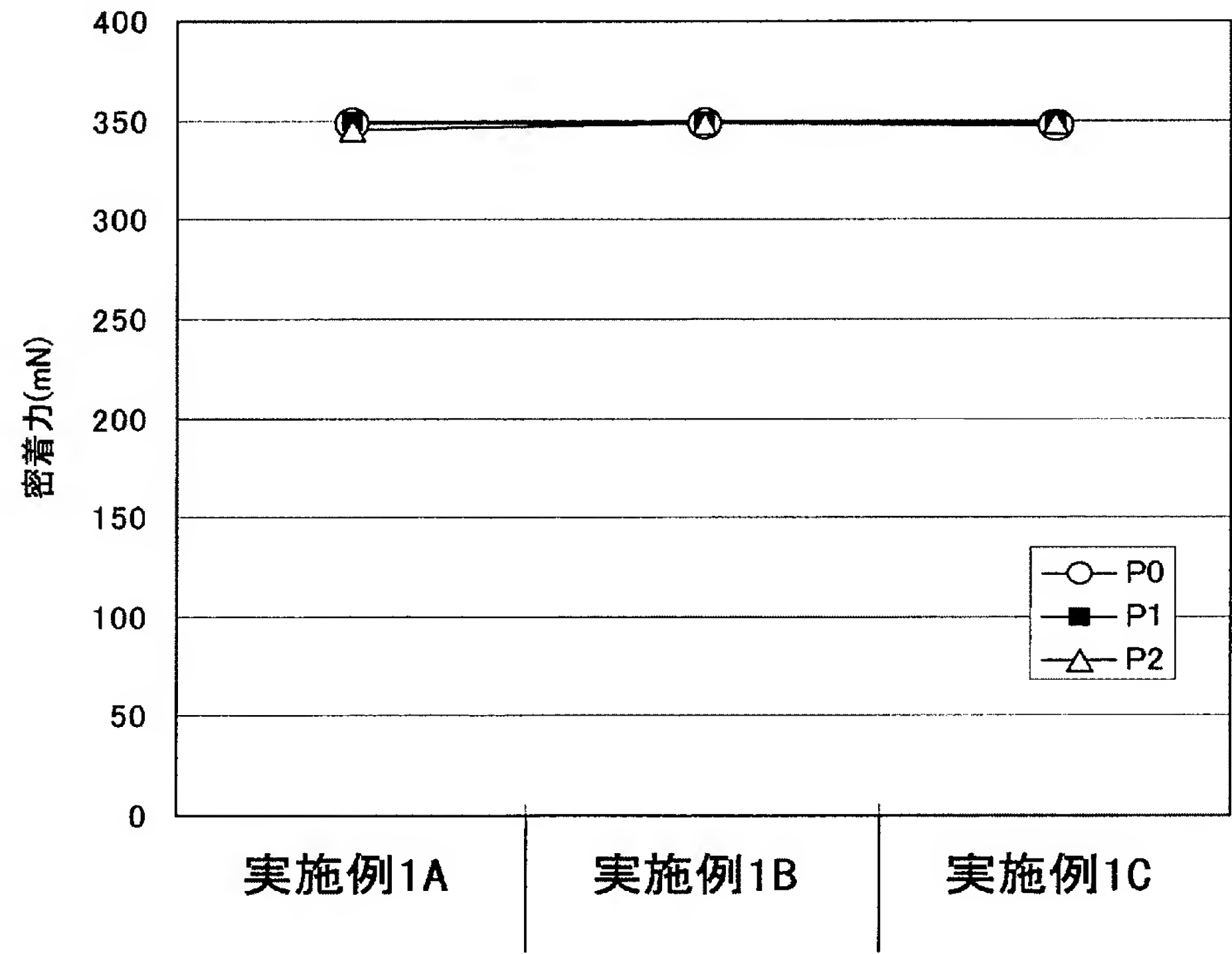
[図14]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/018378

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl ⁷ B41J2/16, B41J2/045, B41J2/055 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl ⁷ B41J2/16, B41J2/045, B41J2/055 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-240297 A (Seiko Epson Corp.), 28 August, 2002 (28.08.02), Full text; Figs. 2 to 4 & US 2002/0145648 A1	1-17
Y	JP 6-297720 A (Seiko Epson Corp.), 25 October, 1994 (25.10.94), Full text; Fig. 1 (Family: none)	1-17
Y	JP 9-254386 A (Seiko Epson Corp.), 30 September, 1997 (30.09.97), Full text; Figs. 1 to 6 & US 5802686 A & US 5933167 A & EP 0736385 A1	1-17
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 08 March, 2005 (08.03.05)		Date of mailing of the international search report 22 March, 2005 (22.03.05)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/018378

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-64092 A (Yamaha Corp.), 28 February, 2002 (28.02.02), Claims 1, 2; Par. Nos. [0041] to [0049]; Figs. 1, 2, 10 (Family: none)	1-5, 15-17

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ B41J2/16 , B41J2/045 , B41J2/055

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ B41J2/16 , B41J2/045 , B41J2/055

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2002-240297 A (セイコーエプソン株式会社) 2002. 08. 28, 全文, 図2~4 & US 2002/0145648 A1	1-17
Y	JP 6-297720 A (セイコーエプソン株式会社) 199 4. 10. 25, 全文, 図1 (ファミリーなし)	1-17

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

08. 03. 2005

国際調査報告の発送日

22. 3. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
高松 大治

2P 9415

電話番号 03-3581-1101 内線 3261

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 9-254386 A (セイコーエプソン株式会社) 1997.09.30, 全文, 図1~6 & US 5802686 A & US 5933167 A & EP 0736385 A1	1-17
Y	J P 2002-64092 A (ヤマハ株式会社) 2002.02.28, 請求項1, 2, 段落【0041】~【0049】, 図1, 2, 10 (ファミリーなし)	1-5, 15-17